

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Renovace optických vláknových tras pro nácvik měření

Reconstruction of Optical Fiber Lines

Zadání bakalářské práce

Student:

David Stanovský

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Renovace optických vláknových tras pro nácvik měření
Reconstruction of Optical Fiber Lines

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provést kontrolu optických tras, vytvořených na učebně EB315, a jejich případnou opravu a renovaci. Na závěr budou všechny trasy proměřeny, ke každé trase bude vytvořen vzorový protokol.

1. Popište metody spojování optických vláken a kabelů včetně kabelových spojek.
2. Popište metody měření útlumu na optických vláknových trasách.
3. Na základě znalosti konstrukce optických tras na učebně EB315 vytvořte odhad útlumu dle platných norem (ČSN EN 60 794) a doporučení TIA/EIA-568.
4. Změřte útlumy jednotlivých tras a porovnejte je s odhady. V případě překročení odhadované hodnoty proveďte měření profilu útlumu reflektometrickou metodou a lokalizujte poruchu na dané trase.
5. Proveďte opravy lokalizovaných poruch.
6. Změřte útlumy jednotlivých tras a profilu útlumů jednotlivých tras reflektometrickou metodou a vytvořte vzorové protokoly.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] MIROSLAV, Filka. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. první. Brno: Centa, spol. s r. o., 2009. 371 s. ISBN 978-80-86785-14-1

[2] DUBSKÝ, Pavel; KUCHARSKI, Maciej. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Novodvorská 994, 142 21 Praha 4 : Mikrokom, 1994. 133 s.

[3] KUCHARSKI, Maciej. *Měření optických vláken: sborník publikovaných článků*. Praha : Mikrokom, 1997. 75 s.

[4] WARZESZKA, Martin. *Vytvoření optické sítě pro nácvik měření*. [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/116191>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

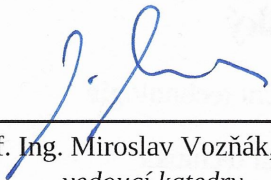
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

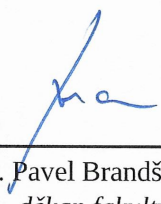
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Skapa, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

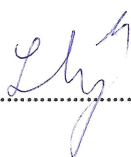



prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

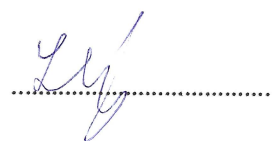
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 15.května 2020


.....

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 15.května 2020



Tímto bych rád poděkoval především Ing. Janu Skapovi, Ph.D. za vedení a pomoc při téhle bakalářské práci. Díky patří i mé rodině která mi vždy vyšla vstříc a tím mi vytvořila příjemější prostředí pro práci.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo zrenovovat optickou síť pro nácvik měření na učebně EB315 v budově Fakulty elektrotechniky a informatiky Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Pod renovací patřila jak oprava poruch, které se na trase časem vyskytly tak také nové bezpečnější fyzické uspořádání spojů v místnosti EA356, kde je většina trasy uložena. Trasy, které kdysi sloužily jako simulace poruch, byly v rámci práce předělány na předřadné vlákno.

Klíčová slova: Optická vlákna; Optické kabely; Spojování optických vláken; Měření útlumu; Analýza optické trasy

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to renovate the optical network for training measurement in classroom EB315 in the building of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science in VSB - Technical University of Ostrava. The renovation included repairing the fault which have appeared during time and new safer arrangement of connections in the room EA356, where most of the routes are located. Routes that were used for simulations of failures are now used as a ballast fiber.

Keywords: Optical fibers; Optical cables; Splicing of optical fibers; Attenuation measurement; Analysis of optical route

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Metody spojování optických vláken	13
1.1 Nerozebíratelné spoje	13
1.2 Rozebíratelné spoje	18
1.3 Všeobecné problémy při spojování	21
1.4 Kabelové spojky	25
2 Měření útlumu	27
2.1 Metoda dvou délek	27
2.2 Metoda vložných ztrát	28
2.3 Metoda OTDR	30
3 Renovace tras	34
3.1 Analýza tras metodou OTDR	34
3.2 Rekonstrukce tras	35
3.3 Shrnutí	39
4 Vzorový protokol	43
Závěr	50
Literatura	51
Přílohy	51
A Náměrové křivky OTDR	52
B Elektronická příloha	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

APC	– Angled physical contact
bf.	– Bafr
CCD	– Charged Coupled Device
č.	– Číslo
LID	– Local Injection and Detection
NPC	– Non Physical Contact
OTDR	– Optical Time Domain Reflectometry
PAS	– Profile Alignment System
PC	– Physical contact
SC	– Subscriber Connector

Seznam obrázků

1	Princip svařování optických vláken [1]	15
2	Princip metody PAS [5]	15
3	Princip metody LID [5]	16
4	Možné chyby při svařování vláken [1]	16
5	Princip spojky Fibrlok 3M [7]	18
6	Typy zabroušení ferulí (NPC, PC, APC) [7]	21
7	Vazební člen [1]	22
8	Příčný posun os vláken	23
9	Podélný osuv vláken	23
10	Sklon vláken	24
11	Možné chyby při zalamování vlákna [1]	25
12	Typické použití krabicové spojky	26
13	Typické použití hrncové spojky	26
14	Schéma pro výpočet útlumu [8]	28
15	Schéma zapojení kalibrační metody 1a	29
16	Schéma zapojení kalibrační metody 1b	30
17	Schéma zapojení kalibrační metody 1c	30
18	Blokové schéma OTDR	31
19	Náměrová křivka OTDR	32
20	APC 13-14 vlnová délka 1310 nm	35
21	APC 13-14 vlnová délka 1550 nm	35
22	APC 13-14 vlnová délka 1625 nm	35
23	Schéma vedení kabelů v místnosti EA356	36
24	Lokalizace poruchy laserem	38
25	APC 13-14 vlnová délka 1310 nm po opravě	38
26	APC 13-14 vlnová délka 1550 nm po opravě	39
27	APC 13-14 vlnová délka 1625 nm po opravě	39
28	Umístění van, cívek a spojky v místnosti EA356	40
29	Schéma APC tras č. 1 - 6 + č. 8	40
30	Schéma APC trasy č. 7	41
31	Schéma APC tras č. 1 - 8	41
32	APC 1-2 vlnová délka 1310 nm	52
33	APC 1-2 vlnová délka 1550 nm	52
34	APC 1-2 vlnová délka 1625 nm	53
35	PC 1-2 vlnová délka 1310 nm	53
36	PC 1-2 vlnová délka 1550 nm	53
37	PC 1-2 vlnová délka 1625 nm	54

Seznam tabulek

1	Změna uspořádání konektorů v optických vanách	34
2	Propoje vláken	37
3	Barevné značení kabelu z učebny do rozvodny	42
4	Barevné značení kabelů v rozvodně	42
5	APC 1-2 Měřeno metodou OTDR	52
6	PC 1-2 Měřeno metodou OTDR	53

Úvod

Tato bakalářská práce navazuje na práci pana Martina Warzeszky, jejímž cílem bylo vybudování optické sítě pro nácvik měření na Vysoké škole báňské - Technické univerzitě v Ostravě v budově Fakulty elektroniky a informatiky. Od vybudování se na trase časem vyskytly poruchy. Také systém tažení kabelů, trubiček a jednotlivých vláken v blízkosti spojů v serverovně nebyl optimálně navržen, a tudíž již i při lehkém pohybu s vanou nebo kabelem hrozilo, že dojde k makroohybu, či dokonce k poškození jednotlivých trubiček.

Účelem práce je trasu vhodným způsobem opravit. V rámci této renovace budou opraveny funkční chyby, ale také vytvořeno nové vhodné uspořádání kabelů a následně trubiček, aby byla vlákna v serverovně ve větším bezpečí. První kapitola pojednává o různých metodách, jak je možné spojit optická vlákna a o zvolení vhodného způsobu pro jednotlivé situace. V druhé kapitole se popisují tři metody, pomocí nichž se dá změřit útlum na optické trase popřípadě lokalizovat poruchu. Poslední kapitola již popisuje samostatnou renovaci optické trasy.

1 Metody spojování optických vláken

Ke každé situaci se hodí jiný druh spoje, jelikož každý druh má svoje výhody ale i nevýhody. U metalických kabelů postačí pouze elektrické spojení, zatímco u optických vláken je důležité zajistit přímou cestu světla z jednoho jádra do druhého. Z tohoto pohledu můžeme spojení optických vláken považovat za mnohem složitější než spojení metalického kabelu. Spoje mezi dvěma vlákny můžeme v základu rozdělit na spoje rozebíratelné a nerozebíratelné.

1.1 Nerozebíratelné spoje

Pokud chceme spojit optická vlákna a již nepředpokládáme, že by se v tomto místě spoj měl někdy znova rozebírat, je nejlepší variantou využít nerozebíratelné spojení. Optické kabely se dodávají jen v určitých délkách, tudíž si jako typickou situaci můžeme představit, že chceme spojit dvě optická vlákna za účelem dosažení větší vzdálenosti a předpokládáme, že vlákno bude v daném místě zakopáno či umístěno ve zdi. Může taky dojít k situaci, kdy je vlákno omylem přeseknuto či přetrženo a my jen potřebujeme opětovné spojení.

Je několik metod, které spadají pod trvalé spoje. Před spojením pomocí níže popisovaných postupů je potřeba vlákno na spojení připravit. Vnější vlivy útlumu spoje lze eliminovat použitou technologií, a proto je potřeba již při přípravě vlákna použít správné a kvalitní nástroje.

Pokud chceme pracovat se samostatným vláknem, potřebujeme se nejprve dostat přes jeho sekundární a následně primární ochranu. K odstranění sekundární ochrany použijeme k tomuto určené zdrhovací kleště. Primární ochrana se již nachází na plášti, který by neměl být poškozen, a proto bychom při odstraňování měli být opatrní. K dispozici máme několik možností, jak se primární ochrany zbavit.

- **Mechanická** - Při této metodě se používají zdrhovací kleště, tentokrát ale určené na primární ochranu. Po mechanickém odstranění zůstávají na vlákne otřepy izolace, které je potřeba následně také odstranit. Tato metoda je sice nejrychlejší a nejpraktičtější, ovšem dochází k narušení pláště vlákna.
- **Chemická** - Po určitý čas se vlákno ponoří do leptací lázně, která ochranu odstraní. U této metody sice také dochází k narušení pláště vlákna ovšem mnohem méně než u mechanické metody.
- **Tepelná** - Vlákno se nahřeje na tavnou teplotu primární ochrany a poté dochází k od-fouknutí ochrany.

Aby měl spoj co nejmenší útlum je důležité, aby vlákno po odstranění sekundární a primární ochrany bylo důkladně očištěno od nečistot a otřepů z izolace. Na práci musíme použít čistící bezchloupkové kapesníčky, na které nanese lih a následně z vlákna setřeme nečistoty.

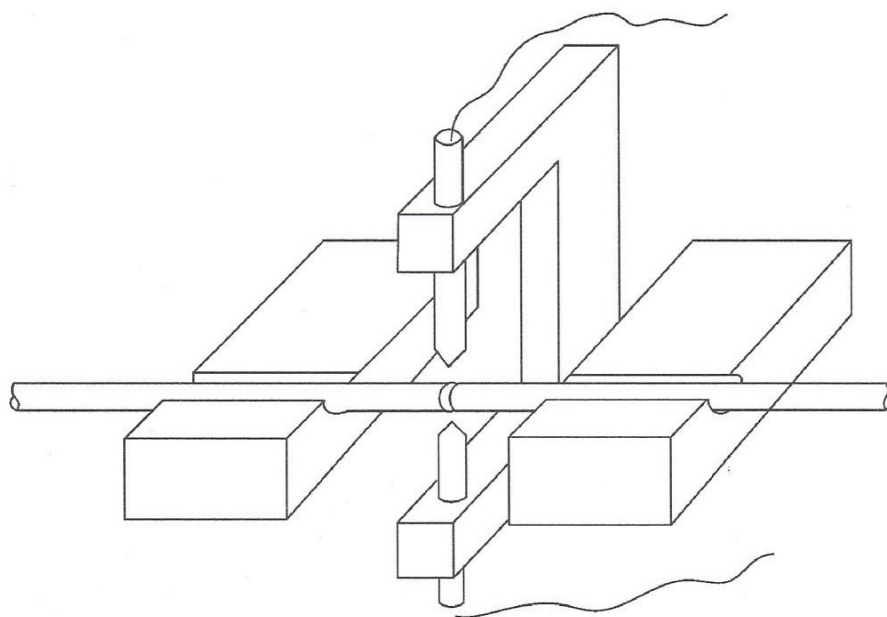
V dalším kroku je potřeba vlákno zalomit. Pro kvalitní zalomení vlákna a vyvarování se problémům je potřeba použít zalamovačku. Ta nám slouží pro téměř dokonalé zalomení vlákna.

Poté co je vlákno vloženo do zalamovačky, je pomocí ostrého nože naříznuto. Axiálním tahem se docílí kolmého a čistého lomu. Ulomený konec vlákna je potřeba bezpečně uklidit. Hrozí nebezpečí, že se kousek vlákna zapíchne do prstu. Výsledný konec lomu si můžeme zkontrolovat pod mikroskopem.

1.1.1 Svařování optických vláken

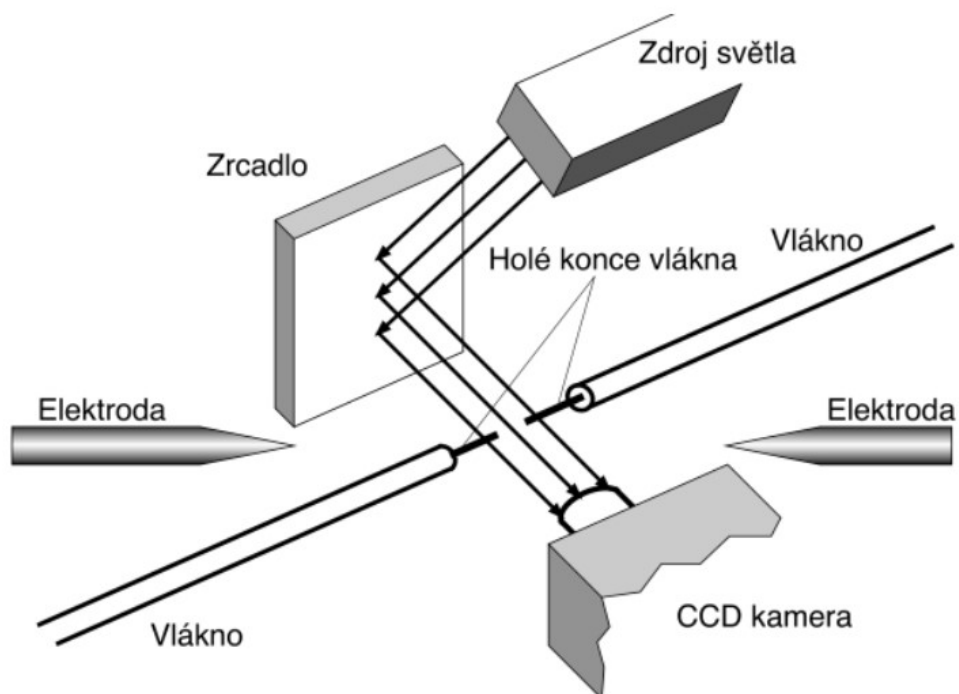
Pokud chceme optická vlákna na trvalo spojit, je tato metoda nejčastěji používaná. S tímto provedením se totiž dá docílit nejmenšího útlumu a dlouhé životnosti spoje. Naopak nevýhoda této metody je cena vybavení, které je pro svařování potřebné. Existuje více metod svařování, ale dnes se mezi nejpoužívanější řadí svařování elektrickým obloukem. Mezi další méně používané metody můžeme zařadit svařování laserem a nebo plynovým plamenem. Spojení vláken není jednoduchá záležitost a to především proto, že má vlákno a hlavně jeho jádro velmi malé rozměry pohybující se typicky okolo desítek mikrometrů. Z tohoto důvodu je samotný proces svaření v dnešní době řízen automaticky.

Konce připravených vláken se snažíme vložit do svářečky tak, aby byly oba konce co nejvíce v ose a zároveň těsně u sebe. Pro toto axiální usměrnění před svařováním se používá klínových drážek. Mezi vlákny by se měla nacházet nepatrná mezera, do které by měly směřovat elektrody. Poté co jsou vlákna umístěna, se může spustit proces svařování. V prvním kroku se vlákna docentrují do požadované geometrie. Následně proběhne čistící oblouk, který současně očistí a předtaví konce vláken. K vlastnímu svařování dochází při současném pohybu vláken proti sobě. Vlákná jsou na sebe přitlačena s přesahem přibližně 15 μm . Parametry oblouku závisí na typu optického vlákna. Celková doba svaření trvá několik sekund. Poté, co je svar dokončen, se většinou provádí zkouška pevnosti a odhad útlumu spoje.[1, 5]



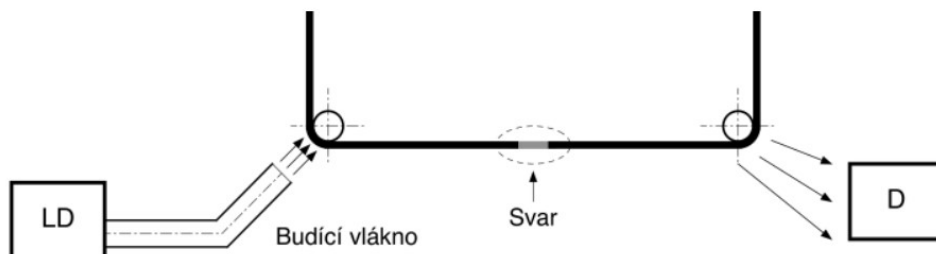
Obrázek 1: Princip svařování optických vláken [1]

Pro nastavení poloh vláken a vyhodnocení odhadu útlumu spoje se používají dvě metody. U metody PAS se kolimovaným optickým svazkem osvětlují konce vláken. Pozorování se provádí v rovině x a y CCD videokamerou. Na základě přijatého obrazu se vyhodnocuje polohování.



Obrázek 2: Princip metody PAS [5]

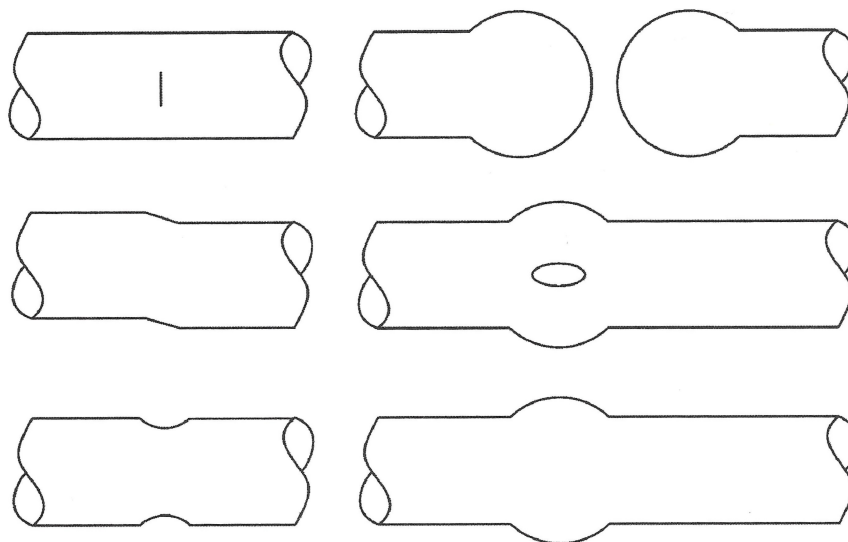
Druhá metoda, která nese název LID, obsahuje dva vazební členy. Světlo proniká do levého vazebního členu a přijímá se na druhé straně pravým vazebním členem. Postupně měří průchozí světlo. S mikroprocesorovým řízením je systém dobrý k přesnému polohování jader obou vláken.



Obrázek 3: Princip metody LID [5]

Po dokončení procesu svařování je možné, že spoj bude vykazovat nedostatky ať již po stránce vizuální, při mechanické kontrole nebo bude mít vysoký útlum. Při takovém stavu je potřeba svar zlomit a celý proces opakovat znovu. Mezi nejčastější chyby při svařování můžeme zařadit vypouknutí nebo naopak zúžení profilu vlákna, neprotavení skla po celém profilu, vznik bublin a osovou odchylku. Typický útlum spoje se pohybuje okolo 0,02dB a mechanická pevnost spoje dosahuje asi 70% pevnosti vlákna.[1, 5]

Jakmile je svar zkontrolován, je nutné obnovit primární ochranu vlákna. To se může provést například speciálním silikonem. V případě obnovení sekundární ochrany můžeme přetáhnout místo svaru samosmršťovací plastovou dutinkou, kterou následně zahřejeme. Tímto velmi dobře zafixujeme svar i jeho okolí.



Obrázek 4: Možné chyby při svařování vláken [1]

1.1.2 Slepované spoje

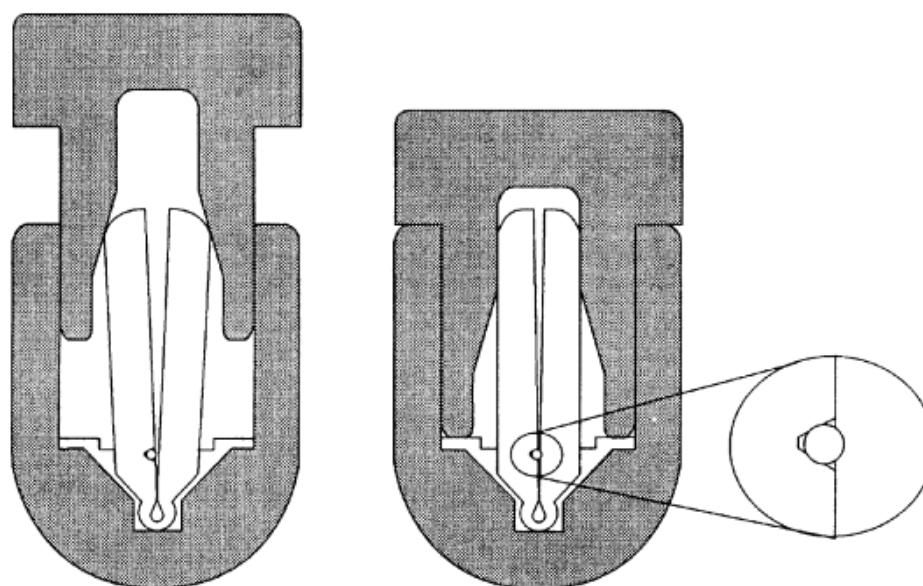
Jak již samotný název napovídá, u těchto spojů se používají lepidla k přilepení vláken k podkladu a ke spojení vláken dohromady. Je nutné, aby mělo lepidlo velmi podobný index lomu jako vlákno. Účelem lepidla je zajišťovat ochranu spoje před prostředím, zabránit deformacím spoje, zajišťovat pevnost v tahu a trvale zajistit vlákno v požadované poloze. Mezi nejčastější typ spojky řadíme trubičky s vnitřním otvorem, který je velmi podobný průměru spojovaných vláken. V tomto tunelu se dotýkající konce vláken zalepí případně i termoplasticky stáhnou. Další možnost je, že trubička obsahuje adhezivní materiál vytvrditelný ultrafialovým zářením. V tomto případě, při zavedení ultrafialového světla do vlákna po nastavení geometrie spoje, se vlivem světla lepidlo polymerizuje. Typické ztráty těchto spojů se pohybují okolo 0,1 dB. Pokud je ovšem spoj vystaven velkým změnám teplot, může dojít k navýšení ztrát. [1]

1.1.3 Mechanické spoje

Tato kategorie sice v rámci této práce spadá do nerozebíratelných spojů, ovšem o těchto spojkách můžeme říci, že jsou částečně rozebíratelné. U této metody je osově vyrovnaní vláken provedeno pomocí různých mechanických struktur. Aby spoj odolával manipulaci a vnějšímu prostředí, je důležité, aby vlákna byla pevně přichycena k vyrovnávacímu povrchu. Pokud chceme dosáhnout co nejmenšího útlumu spoje, je nutné použít optický sdružovací materiál mezi konci vláken. Tento materiál je většinou: silikonový gel, epoxidová pryskyřice, optický tuk nebo ultrafialové lepidlo. Tato výplň je vybírána podle optických vlastností skla a slouží zároveň jako primární ochrana holého jádra.

Na renovovaných trasách jsou použity spojky Fibrlok 3M, které jsou vyráběny firmou 3M. Mají velmi malý vložný útlum a jsou určeny pro rychlé spojování vláken. Skládají se ze čtyř částí. V hlavní části je umístěn již předem nainstalovaný gel, který má za úkol při spojování co nejvíce zmenšit nepříznivost změny indexu lomu při přechodu světla z jednoho vlákna do druhého. Hlavní mechanismus této spojky funguje následovně. Jakmile jsou připravená vlákna na spojování umístěna proti sobě ve volně průchozí trubičce na spodku spojky, můžeme montážním nástrojem zamáčknout čepičku spojky. Ta zapůsobí na stěny, které postupně zmenší kanálek, ve kterém je vlákno umístěno. Zmenšení je tak velké, že se vlákno v kanálku zaaretuje. Poté již by vlákna měla být ve spojované oblasti stále ve stejné poloze.

Výhoda tohoto postupu při spojování je, že spojení proběhne velmi rychle a pořizovací náklady na vybavení jsou podstatně nižší než u metody svařování. Nevýhodou je nemožnost dosáhnout stejného útlumu, jako když vlákna svaříme. [1, 5]



Obrázek 5: Princip spojky Fibrlok 3M [7]

1.2 Rozebíratelné spoje

Tento typ spojů najde své místo v bodech, kde se trasa potřebuje opětovně spojovat a rozpojovat. Typickým místem, kde můžeme tyto spoje nalézt, jsou ústředny či opakovací zesilovače, ale také se může jednat o vyústění optické trasy přímo do počítače. Můžeme také říci, že se jedná o konektorované spoje, které řadíme mezi pasivní prvky optických tras, jelikož u nich nedochází k zesílení či regeneraci signálu. Vzhledem k typickému počtu těchto spojů na trase může jejich kvalita značně ovlivnit útlum celé trasy. U tohoto typu spojení se požaduje, aby se konce vláken nedotýkaly, jelikož by mohlo dojít k opotřebení jejich styčných ploch a tím pádem by se samozřejmě zhoršila kvalita spoje. Na druhou stranu se musíme snažit zajistit, aby mezera byla co nejmenší a vlákna byla co nejvíce v ose. Kdybychom mezeru udělali moc velkou, došlo by vlivem difrakce k nadměrnému rozšiřování svazku. V tu chvíli by takovéto konektorové spojení mělo značně velký nežádoucí útlum. Mají-li být ztráty v přijatelné míře přibližně 0,2 dB neměla by vzdálenost čelních ploch jader přesáhnout 10% průměru jádra spojovaného vlákna. Konektor se skládá z těchto částí: [1]

1. Tělo konektoru včetně aretačního prvku

- Pod tuto skupinu můžeme zařadit materiál, z kterého je tělo vyrobeno a pak samostatný tvar konektoru. Dále je mnoho způsobů a každý konektor má určený svůj způsob aretace. Ta jednoznačně určuje správnou orientaci konektoru při spojování s jiným konektorem a zamezuje otáčení ve spojce. Tento prvek je velmi důležitý především pro konektory s leštěním typu APC. Tyto tři prvky: tvar, materiál a způsob aretace nám určují typ optického konektoru.

2. Ferule včetně držáku

- Pro přesné umístění a pomocí lepidla pro následné uchycení vlákna v konektoru.

3. Krimpovací trubička a vývodka

- Tato část má za úkol zvyšovat ochranu proti mechanickému namáhání a vytržení vlákna z konektoru v oblasti jeho vyústění. Omezuje tím také ztráty světla, které by mohly vzniknout makroohybem při instalaci.

Optické konektory jsou v zásadě charakterizovány dvěma přenosovými parametry:

1. Vložný útlum

- Vyznačuje ztráty, které se projeví při zapojení optického konektoru do trasy. Typická hodnota těchto ztrát bývá okolo 0,5 dB a menší. Na tuto hodnotu má velký vliv čistota a míra poškrábanosti ferule konektoru a také související problémy, jako je příčný posun os vláken, sklon vláken, podélné oddálení atd. V ideálním případě by byl vložný útlum roven 0 dB. Je dán vztahem

$$A = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) [dB] \quad (1)$$

P_1 = optický výkon vstupního signálu, P_2 = optický výkon výstupního signálu

2. Útlum odrazu

- U tohoto čísla je pro nás dobré, aby bylo co nejvyšší. Vyznačuje o kolik je odražený signál slabší než signál, který do konektoru vchází. Je dán vztahem

$$A = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_3} \right) [dB] \quad (2)$$

P_1 = optický výkon vstupního signálu, P_3 = optický výkon zpětně odraženého signálu

Jak již bylo zmíněno, typ konektoru je určen tvarem těla, materiálem a způsobem aretace. Mezi základní typy můžeme zařadit:

- **FC** – šroubovací konektor s kovovým tělem
- **ST** – bajonetový konektor s kovovým nebo plastovým tělem
- **E-2000** – mechanické bezpečnostní záklopy na konektoru i v průchodce

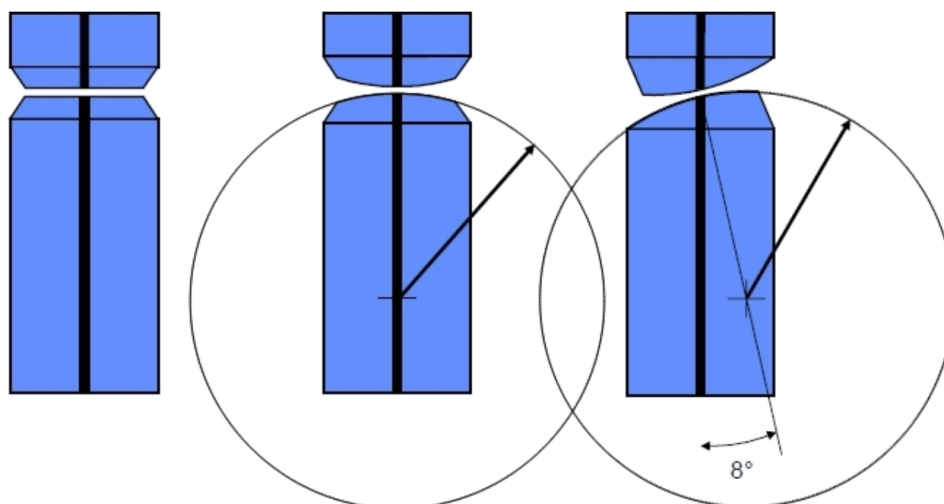
- **SC** – Jedná se o zacvakávací konektor s plastovým tělem. V posledním desetiletí je nej-používanějším konektorem v LAN sítích. Jeho použití najdeme jak u multimódových, tak i u singlemódových vláken. Při opětovném rozpojování a spojování by měl vydržet přes 1000 cyklů. V základní variantě se jedná o simplexní konektor, ale je možné najít i pár modifikací předělávající na duplex. Ferule konektoru může být typu PC nebo APC. Modré jsou typicky konektory s ferulí PC, zatímco zelená typicky značí typ ferule APC. [6]

Technické provedení konektoru může být jednoduché nebo duplexní. Jednoduché technické provedení znamená, že je to jeden samostatný konektor, zatímco duplexní provedení je dvojice optických konektorů.

1.2.1 Ferule konektoru

Mezi nejdůležitější části konektoru můžeme zařadit feruli (avšak existují konektory i bez ferule). Jedná se vlastně o váleček, který zajišťuje přesné umístění a uchycení vlákna v konektoru. Je to nejpřesnější část konektoru a na její kvalitě závisí jeho přenosové parametry. Ferule mohou být vyrobeny například z keramiky, ale také i z plastu. Vláknem je ve feruli zafixováno lepidlem a zabroušeno. Jelikož na konci vlákna je rozhraní dvou optických prostředí, tudíž na nich dochází jak k odrazu, tak k lomu světla. Pro náš účel jsou zpětné odrazy nežádoucí, a proto je snaha vymýšlet různé zakončení, aby byly odrazy co nejmenší. Existují tři typy zabroušení ferulí, a to: NPC, APC a PC, které je dále ještě rozšířeno o SPC a UPC.[7]

- **NPC** – (Non Physical Contact) – ferule je zabroušená rovně
- **PC** – (Physical Contact) – ferule je zabroušená sféricky rovně
- **APC** – (Angled Physical Contact) – ferule je zabroušená úhlově sféricky pod úhlem 8 stupňů



Obrázek 6: Typy zabroušení ferulí (NPC, PC, APC) [7]

1.2.2 Konektorování

Konektorování optického vlákna se provádí ve speciálním čtyřfázovém technologickém postupu. Tento postup by měl zaručit maximální kvalitu konektorových spojení.

1. Zavedení optického vlákna do ferule

- Vlákno je vloženo do ferule současně včetně lepidla, které je dvousložkové a teplem vytvrditelné. Lepidlem by měly být vyplněny všechny prostory mezi optickým vláknem a vnitřním průměrem ferule.

2. Středění optického vlákna

- Po této fázi by mělo být jádro vlákna v dokonalé ose s ferulí.

3. Vytvrzování lepidla

- Tento krok se provádí ve speciálních vytvrzovacích pecích. Na tento proces je přesně definovaný čas a průběh teploty. Řádově tento proces trvá hodiny.

4. Leštění ferule

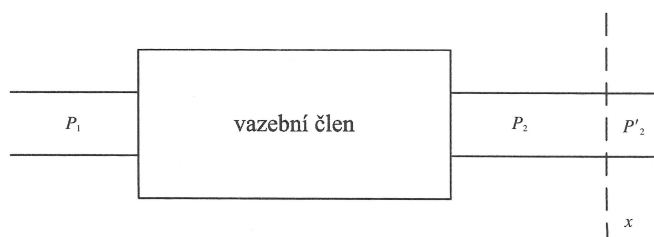
- Tento krok je prováděn z důvodu lepší kvality konektorového spojení. Provádí se leštění typu PC, APC nebo NPC. Je potřeba dávat pozor, aby nedošlo k podbroušení, což je nevratný stav, při kterém další leštění jen zhoršuje kvalitu.

1.3 Všeobecné problémy při spojování

Obecně čím méně spojení musíme na trase řešit, tím lépe, jelikož každý spoj vnáší do trasy další útlum, který je ve většině případů nežádoucí a v místě spoje nám vytvoří takzvaný vazební člen.

Pokud si představíme, že do takového spoje vstupuje výkon P_1 a vystupuje výkon P_2 můžeme vypočítat útlum tohoto spoje vztahem

$$A = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) [dB] \quad (3)$$



Obrázek 7: Vazební člen [1]

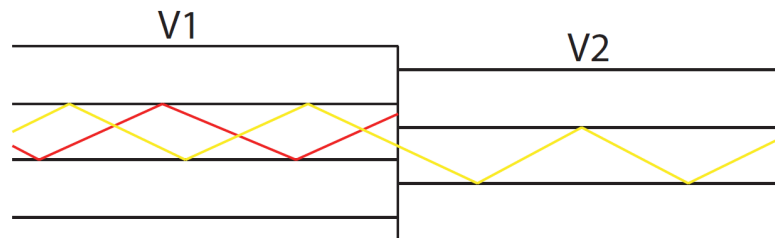
V praxi změřit výkon P_1 nám nedělá větší problém, ovšem u výkonu P_2 je to již horší. Tento výkon se dá změřit až v dalším bodě x , který už má ale od spojky nějakou vzdálenost, a tím pádem vnášíme do měření chybu. Tato chyba bude ve většině případů z důvodu přirozeného útlumu samotného optického vlákna. Pokud měříme v bodě vzdáleném od spoje, je potřeba ztracený výkon k naměřenému výkonu přičíst, abychom dosáhli co nejpřesnější hodnoty P_2 . Pokud ovšem měření probíhá v těsné blízkosti spoje, je možno i tento malý ztracený výkon zanedbat. Optické ztráty, které vznikají ve spoji, mají dvojí původ. Na vlivy vnitřní se díváme z hlediska rozdílných vlastností spojovaných vláken. Naopak mezi vlivy vnější řadíme nedokonalou geometrii spoje.

- vlivy vnitřní
 - změna průměru jádra a primární ochrany spojovaných vláken
 - nepřizpůsobení indexů lomů
 - nepřizpůsobení numerických apertur
 - eliptičností a nesoustředností jádra a primární ochrany
- vlivy vnější
 - příčné předsazení
 - podélné předsazení
 - axiální sklon vláken
 - fresnelovy odrazy
 - kvalita opracování konce vlákna

Vnitřní vlivy použitím technologií při spojování nijak neovlivníme, naopak útlum vzniklý z vnějších vlivů můžeme eliminovat použitím technologií kvalitních. [1]

1.3.1 Příčný posun os vláken

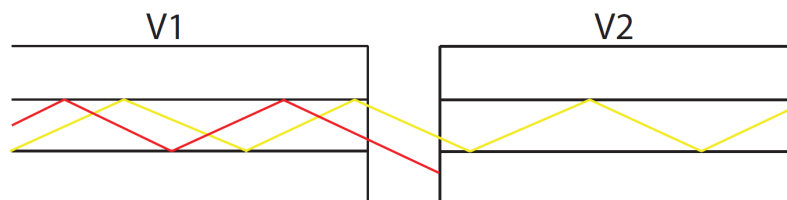
Tento stav najdeme u dvou vláken, které se nenachází společně v ose. Jak je vidět na obrázku vlákno V2 je o trochu níže oproti ose vlákna V1. Jeden paprsek znázorněný žlutou barvou projde z jádra prvního vlákna do druhého a pokračuje dále. Paprsek znázorněn červenou barvou naráží na plášť druhého vlákna a tím pádem neprojde do druhého jádra, kde by se měl šířit dále.



Obrázek 8: Příčný posun os vláken

1.3.2 Podélný posun vláken

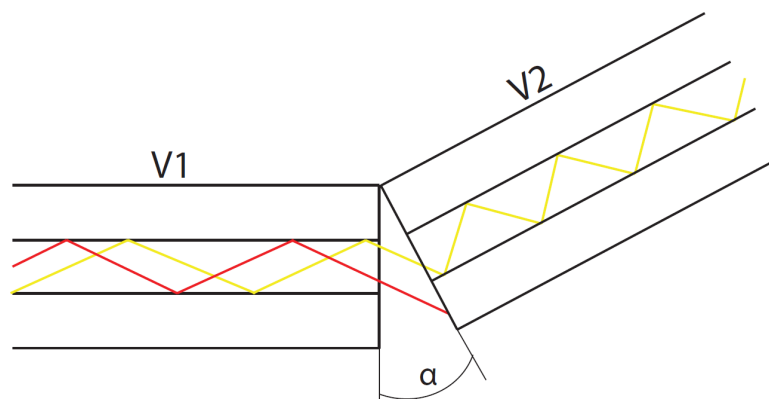
Tento problém nastává pokud vlákna nejsou přesně na sobě, ale je mezi nimi nějaká mezera. Na obrázku vidíme, že paprsek znázorněný žlutou barvou projde do druhého vlákna a pokračuje dále. Na červený paprsek byla v tomhle případě mezera moc velká, a tudíž se nenavázal do dalšího jádra.



Obrázek 9: Podélný osuv vláken

1.3.3 Sklon vláken

Pokud je mezi osy vláken nějaký úhel, dochází k útlumu. Z obrázku si lze povšimnout, že sice žlutý paprsek opět prošel z jednoho jádra do druhého, ale červený paprsek unikl.



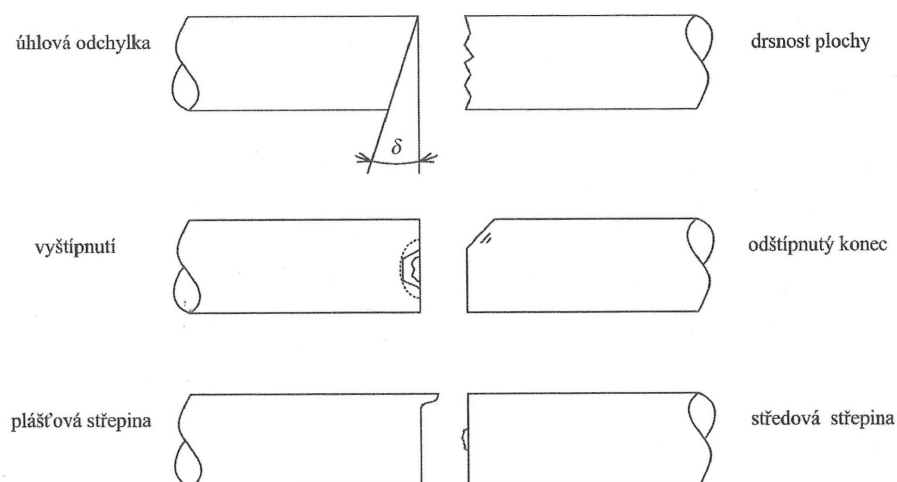
Obrázek 10: Sklon vláken

1.3.4 Fresnelovy odrazy

Pokud není paprsku umožněn průchod bez změny indexy lomu, vznikají odrazy. V případě spojování vláken vznikají nejvíce v konektorových spojkách.

1.3.5 Zalamování vláken

Při spojování optických vláken musíme dohlédnout na to, aby oba dva konce byly správně zalomeny. Pokud by nebyly správně ukončeny, mohlo by docházet ke zbytečně velkému útlumu. Při zalamování samotných vláken je důležité, aby předtím byla důkladně odstraněna sekundární i primární ochrana, jinak nedokážeme provést kvalitní lom, který je podmínkou dobrého spojení vláken. Nejčastěji se zalomení konců vláken provádí v zalamovačce. Pokud zalomení neproběhne dokonale, může lom vypadat jako některá situace na obrázku. Jestliže není lom kvalitně udělaný, je potřeba celý proces lámání opakovat. Pokud je vlákno určené na umístění do konektoru, je potřeba ještě čelní plochy brousit a leštit. K tomuto účelu se používá velmi čistých a vysoce účinných brusiv a leštiv, které v kombinaci s vhodnými brousícími a lešticími nástroji umožňují rychlého dosažení požadovaného tvaru.[1]



Obrázek 11: Možné chyby při zalamování vlákna [1]

1.4 Kabelové spojky

Optické kabelové spojky nám slouží k propojení dvou a více kabelových délek v jedné kabelové trase. V této spojnici spojujeme jednotlivá optická vlákna. Při tomto spojení může docházet buďto k samotnému prodlužování trasy a nebo k jejímu větvení. Spojky musí mít specifické vlastnosti podle toho, kam budou uloženy. Aby odolaly daným podmínkám, měly by být konstruovány a připraveny především pro uložení do země nebo kabelovodu.

Kabelové spojky musí dodržovat určité vnitřní prostorové uspořádání. V jejich struktuře se musí nacházet otvor pro vstup a následné uchycení a rozvláknění všech spojovaných optických kabelů. Dále musí mít prostor pro vláknový management, pod něhož spadá uložení všech vláknových rezerv spojovaných optických kabelů s povoleným poloměrem ohybu včetně uložení ochranných svarů všech spojovaných optických vláken. Mezi další vlastnosti spojky musí patřit vodotěsnost, ale i přesto musí být rozebíratelné. Spojky můžeme roztrždit podle tří kritérií. [5]

1. Podle umístění na optické trase

- vnitřní
- vnější

2. Podle použití

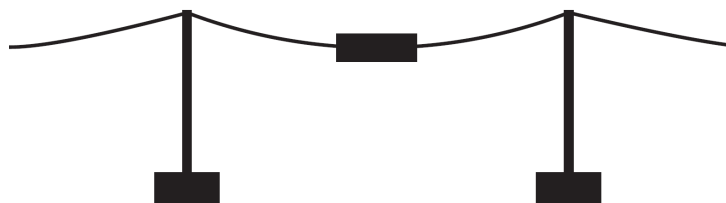
- přímé
- odbočné

3. Podle konstrukčního provedení

- hrncové: jedno čelo pro všechny kabelové vstupy do spojky

- krabicové: dvě boční stěny pro všechny vstupy do spojky

Krabicové neboli také rovné spojky se používají například mezi stožáry závěsných kabelů v kabelových šachtách, ale hlavně na kabelech, které se ukládají do země. Spojka bývá montována v jedné linii jako natažený kabel.



Obrázek 12: Typické použití krabicové spojky

Hrncové spojky naopak najdeme přímo na stožárech tras závěsných kabelů nebo v šachtách zemních kabelů. Pokud jsou dodrženy rezervy před touto spojkou, je možné přemístit celou spojku z jejího místa uložení na pracovní místo, které může být například lépe přístupné.



Obrázek 13: Typické použití hrncové spojky

Při instalaci by měly být dodrženy optimální technologické postupy, a tím pádem je nutno omezit působení povětrnostních vlivů při montáži spojky na kabelovou trasu. Z tohoto důvodu je dobré provést montáž ve vhodném prostředí, například v montážním voze. Je také potřeba dbát na to, aby se při montáži nepřekročily mechanické parametry vlákna i kabelu, které udává výrobce.[5]

2 Měření útlumu

Pomocí útlumu můžeme vyjádřit celkové ztráty při šíření optického signálu. Je tudíž nejdůležitější přenosový parametr optického vlákna a měří se po celou dobu jeho životnosti od výroby, přes jeho instalaci a pak při jeho údržbě. Ovlivňuje nám dosah signálu a tudíž většinou potřebujeme, aby byl útlum co nejmenší. Útlum pro danou vlnovou délku se určuje mezi dvěma body a udává se nejčastěji v decibelech (dB). Je definován vztahem

$$A(\lambda) = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2(\lambda)} \right) [\text{dB}] \quad (4)$$

P_1 = optický výkon na začátku trasy, P_2 = optický výkon na konci trasy

V praxi může být užitečný také parametr útlumu vztahený na jednotku délky a tudíž se u každého vlákna uvádí jeho koeficient útlumu. Při vynásobení délky požadovaného vlákna s koeficientem útlumu si můžeme jednoduše odhadnout, jaký celkový útlum bude naše vlákno mít. Koeficient vypočteme pomocí vztahu[2]

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{l} [\text{dBkm}^{-1}] \quad (5)$$

$A(\lambda)$ je celkový útlum vlákna pro danou vlnovou délku, l je délka vlákna.

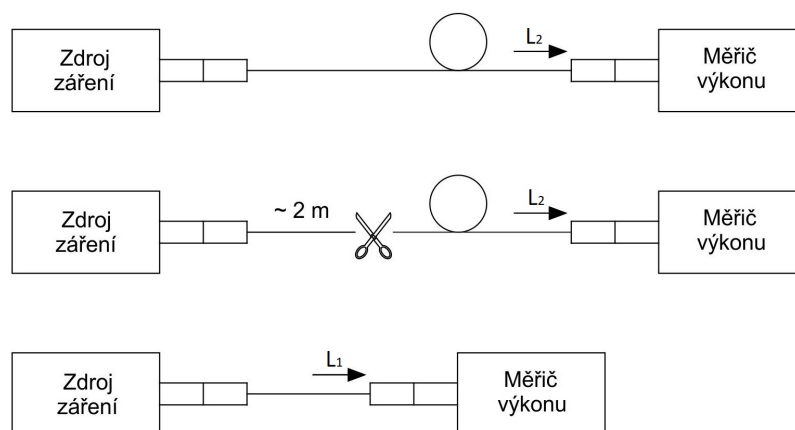
Pro měření útlumu používáme tři metody

- metoda dvou délek
- metoda vložných ztrát
- metoda reflektrometrická

2.1 Metoda dvou délek

Tato metoda je rozdělena do dvou kroků. V první fázi se změří úroveň L_2 optického výkonu určité délky optického vlákna. V druhé fázi se změřené vlákno fyzicky zkrátí a následně je znova změřena přijímaná úroveň L_1 , ale tentokrát zkráceného vlákna. Měrný útlum vlákna se pak vypočte z rozdílů úrovní.

$$A(\lambda) = L_1(\lambda) - L_2(\lambda) [\text{dB}] \quad (6)$$



Obrázek 14: Schéma pro výpočet útlumu [8]

Výhodou této metody je, že je nejpřesnější ze všech tří metod. Na druhou stranu nevýhoda spočívá v tom, že je v praxi téměř nepoužitelná, jelikož se jedná o destruktivní metodu. Při měření výkonu L_1 je nutno v nějakém bodě zalomit optické vlákno. Používá se pouze pro laboratorní účely.

2.2 Metoda vložných ztrát

K měření pomocí této metody je potřeba

- zdroj optického výkonu
- měřič optického výkonu
- měřicí propojovací moduly neboli patchcordy

Metoda je z hlediska přesnosti měření útlumu lepší, než metoda OTDR, ale není tak přesná, jako výše zmiňovaná metoda vložných ztrát. Výhodou této metody oproti metodě vložných ztrát je, že není destruktivní. Za nevýhodu oproti metodě OTDR můžeme považovat to, že je potřeba, aby byly připojeny přístroje na obou stranách optického vlákna. Měření probíhá opět ve dvou krocích.

Prvním krokem je kalibrace. Jde o přímé propojení pomocí patchcordů optického zdroje signálu a optického přijímače, jenž měří optický výkon. Existují tři metody, jak provést kalibrační zapojení a ty označujeme jako 1a, 1b a 1c. Z tohoto zapojení a následného měření získáme úroveň optického výkonu L_1 zvanou jako referenční hodnota.

Druhým krokem je samostatné měření trasy. Rozpojíme patchcordy a poté jeden připojíme na začátek a druhý na konec měřené trasy. Následným měřením získáme úroveň optického signálu L_2 . Ta musí být vždy menší než referenční hodnota L_1 . Pro všechny kalibrační metody je již toto zapojení stejné. Vysílač i přijímač musí mít nastavenou stejnou vlnovou délku. Následně můžeme vypočítat útlum měřené trasy pomocí vztahu

$$A(\lambda) = L_1(\lambda) - L_2(\lambda)[dB] \quad (7)$$

Trasa by se měla měřit minimálně na dvou vlnových délkách a po dokončení měření by se měly pozice vysílače a přijímače optického signálu vyměnit a měření pro obě vlnové délky opakovat. Po dokončení oboustranného měření se obě hodnoty pro danou vlnovou délku sečtou a vydělí dvěma, čímž nám vznikne průměr útlumu. Multi-modová vlákna měříme typicky na vlnových délkách 850 a 1300 nm a single-modová vlákna na 1310 a 1550nm.

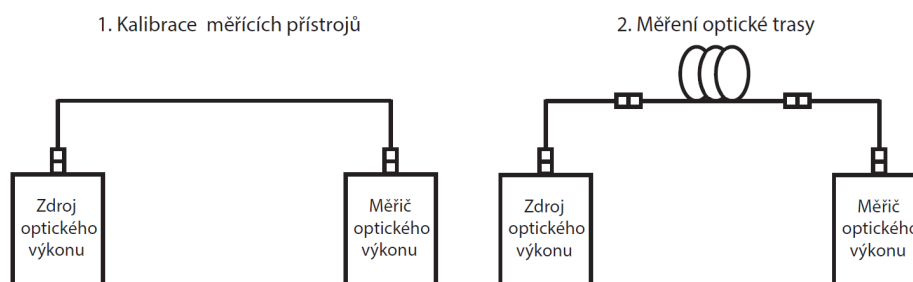
Jelikož se pomocí optických signálů dá bez opakovaců překlenout velké vzdálenosti, směřuje se k tomu, aby jeden přístroj měl v sobě zabudovaný jak vysílač, tak i měřič optického výkonu. V takovém případě není potřeba při obousměrném měření přístroje vyměňovat, ale pouze se změni jejich role z vysílače na přijímač a naopak.

2.2.1 Kalibrační metody

Existují tři kalibrační metody a každá má jinou systémovou chybu. Systémová chyba znamená o kolik konektorových spojení bude mít kalibrace více či méně než samostatné měření trasy.

1. Kalibrační metoda 1a [9]

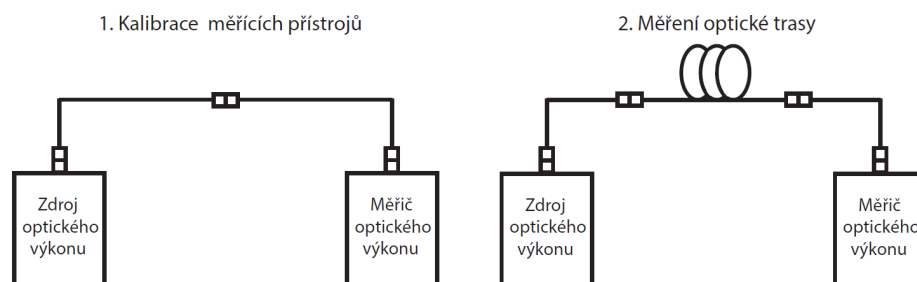
- Používá se pouze jeden patchcord, s jehož pomocí je přímo propojen jak vysílač, tak přijímač optického signálu. Systémová chyba je rovna 2 konektorovým spojení. Pro připojení na trasu je nutno použít přídavný patchcord.



Obrázek 15: Schéma zapojení kalibrační metody 1a

2. Kalibrační metoda 1b [9]

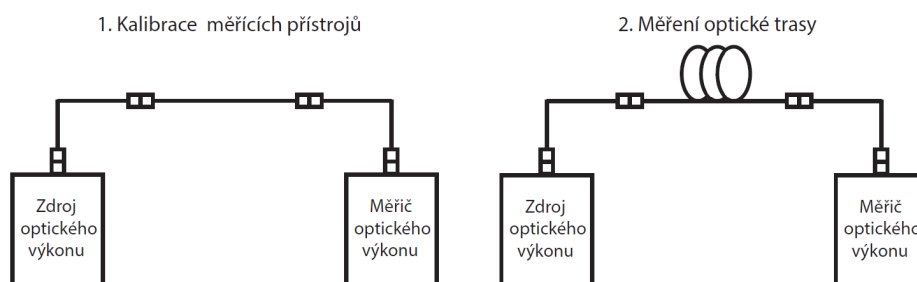
- Při tomto zapojení se použijí 2 patchkordy, které jsou spojeny konektorovým spojením. Po následném přepojení na trasu je potřeba pouze rozpojit konektorové spojení a každý patchcord připojit na jeden konec trasy. Vzniká jedno konektorové spojení navíc a tudíž i systémová chyba je rovna jedné.



Obrázek 16: Schéma zapojení kalibrační metody 1b

3. Kalibrační metoda 1c [9]

- Nejvýhodnější je tato kalibrační metoda. Jsou použity tři propojovací moduly a tudíž při odstranění prostředního modulu a připojení měřáků na trasu nevzniká žádná systémová chyba.



Obrázek 17: Schéma zapojení kalibrační metody 1c

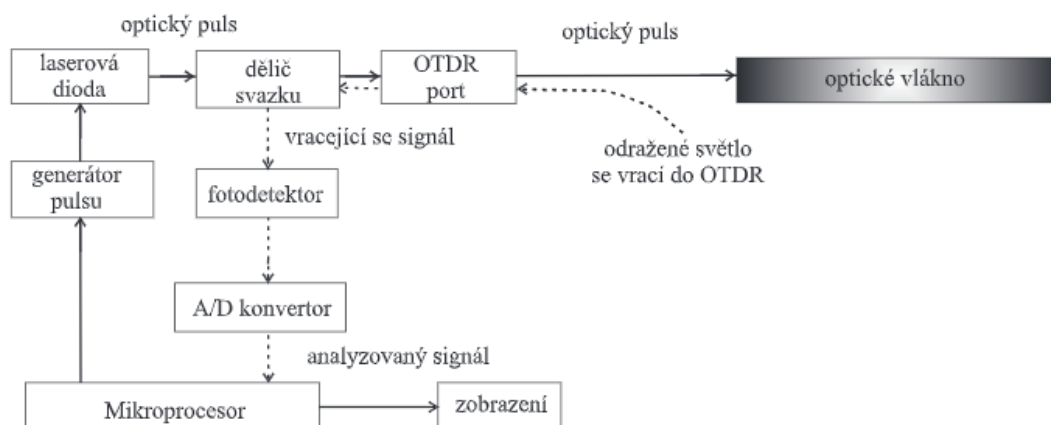
2.3 Metoda OTDR

Fyzikálním principem této metody je vyhodnocování časové závislosti zpětně rozptýleného optického výkonu při šíření úzkého optického impulsu měřeným vláknem. Část optického výkonu vpuštěného do optického vlákna se nám vrací díky dvěma fyzikálním jevům, a to Rayleighovu rozptylu a Fresnelovu odrazu. Díky Rayleighovu rozptylu se poté mohou vyhodnotit útlumy, zatímco Fresnelův odraz nám následným vyhodnocením určuje délku trasy a je velice užitečný pro lokalizaci závad na trase. Velikost zpětně rozptýleného světla je přímo úměrná šířce a vlnové délce vysílaného optického pulzu do vlákna. Čím je vysílaný pulz širší, tím je větší zpětný výkon. Šířka pulzu je doba jeho trvání, která je dána délkou pulzu a rychlostí šíření optického signálu pro dané optické prostředí. Obecně můžeme říci, že čím delší bude měřená trasa, tím delší by měl být měřící impuls. Volba délky měřícího pulzu je kompromisem mezi délkou měřené trasy a rozlišovací schopností. Platí, že čím je delší měřící pulz, tím je horší rozlišovací schopnost měření. Rozlišovací schopnost je rovna polovině délky pulzu, jelikož měřící pulz musí urazit na konec

trasy a zpátky, tedy dvojnásobnou trasu, než se vrátí do měřicího přístroje. Pomocí OTDR lze vyhodnocovat

- útlum celé délky či jednotlivých úseků trasy a jeho podélnou homogenitu
- útlum jednotlivých svarů a konektorových spojení
- délku trasy
- jakékoli nehomogenity
- lokalizaci závad
- útlum odrazu

Při zahájení měření dá mikroprocesor příkaz a parametry na vygenerování impulsu. Generátor pulzů tento elektrický impuls vytvoří a fotodiody jen převede na impuls optický, který je přes dělič svazku propuštěn do optického vlákna. Zpětně odražený výkon se tentokrát v děliči svazku oddělí do fotodetektoru, který převede optický signál na analogový elektrický. V dalším bloku je A/D převodník, který z analogového signálu udělá digitální a ten pokračuje do mikroprocesoru, kde je vyhodnocen a výsledek je zobrazen na monitor. [2]



Obrázek 18: Blokové schéma OTDR

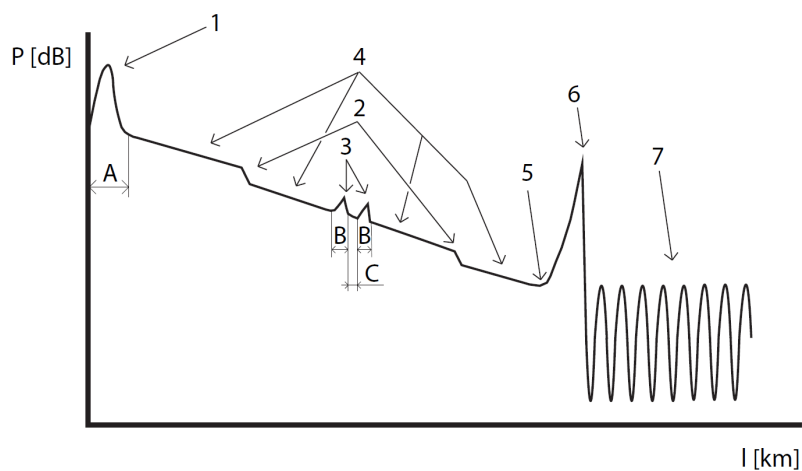
Výhoda metody OTDR spočívá v tom, že se na trase vyhodnocují veškeré jevy jako je útlum svaru, odrazy od konektorových spojení atd. Mezi další výhody můžeme zahrnout to, že trasa je měřena jen z jednoho konce, a tudíž není potřeba mít na obou stranách trasy nějaký přístroj. V případě poruchy lze lokalizovat, jak daleko od začátku trasy se problém nachází a pokud máme dokumentaci k trase a víme kudy trasa vede, tak můžeme poruchu lokalizovat. Měření útlumu ovšem není tak přesné jako u předcházejících dvou metod. Při samostatném měření si také nemůžeme být jisti, zda-li měříme celou trasu, jelikož měření se provádí jen z jedné strany.

2.3.1 Měření metodou OTDR

Před samostatným měřením je přístroj potřeba nastavit. Přístroj musí znát

- vlnovou délku optického záření
- šířku pulzu
- délku měřené trasy
- dobu měření

Poté co přístroj bude znát všechny potřebné parametry, se může spustit měření. Přístroj vyšle do měřené trasy optický signál a jeho odražená část se vrátí zpět. Výsledkem zpracovaných údajů je náměrová křivka OTDR, která může vypadat např. jako na obrázku.



Obrázek 19: Náměrová křivka OTDR

Na obrázku jsou znázorněny jevy, které se mohou na náměrové křivce OTDR vyskytnout. Rayleighův rozptyl se týká označení s číslem 2 a 4, zatímco Fresnelův odraz je vidět na číslech 1, 3 a 6. Přesněji čísla popisují

1. odraz od vstupního konektorového spojení
2. svary na měřené trase
3. konektorová spojení
4. homogeně rozložený útlum na trase
5. konec trasy
6. odraz od konce trasy

7. šum

V mrtvých zónách ztrácíme rozlišovací schopnost a dá se říct, že nevíme, co se v tomto úseku na trase děje. Rozlišujeme tři druhy mrtvých zón označené na obrázku písmeny:

1. A - přístrojová mrtvá zóna

- Tato zóna vzniká odrazem od vstupních konektorů. Můžeme ji definovat jako vzdálenost od začátku trasy k místu, kdy je trasa měřitelná rozptylem optického záření. Její typická délka je okolo 100-ky metrů. Pokud se chceme tomuto problému vyhnout, můžeme použít takzvané předřadné vlákno. To zapojíme mezi přístroj OTDR a měřenou trasu za podmínky, že je stejného typu jako vlákno na trase. Jeho typická délka se pohybuje okolo 100 – 1000 m.

2. B - útlumová mrtvá zóna

- Objevuje se typicky na konektorových spojeních. Je to minimální vzdálenost za odrazem, kdy je již křivka měřitelná rozptylem optického záření. Je menší než přístrojová mrtvá zóna a její typická délka se pohybuje okolo 10-tek metrů. Je to jeden z důležitých parametrů, který se udává u přístrojů OTDR.

3. C - identifikační mrtvá zóna

- Vzniká stejně jako útlumová mrtvá zóna typicky na konektorových spojeních nebo jevech v měřené trase, které generují odraz optického záření. Je to minimální délka mezi následnými odrazy, kdy už lze oba odrazy od sebe bezpečně rozlišit. Velikost zóny je ovlivněna šířkou měřicího pulzu.

3 Renovace tras

Před diagnostikou tras bylo pro lepší přehlednost zavedeno nové uspořádání v optických vanách. Nyní vždy trasy začínají a končí hned vedle sebe. Aby bylo možno starou trasu dohledat, byla vytvořena tabulka, jež popisuje změny v přemístění všech tras.

Trasa č.	Po úpravě		Před úpravou	
	Port vstup	Port výstup	Port vstup	Port výstup
1	1	2	1	13
2	3	4	3	15
3	5	6	5	17
4	7	8	7	19
5	9	10	2	14
6	11	12	4	16
7	13	14	6	18
8	15	16	8	20
9	17	18	9	10
10	19	20	11	12
11	21	22	21	22
12	23	24	23	24

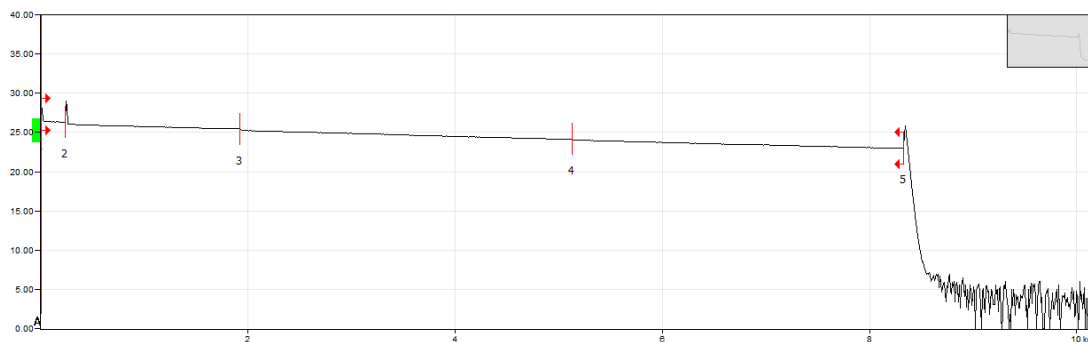
Tabulka 1: Změna uspořádání konektorů v optických vanách

3.1 Analýza tras metodou OTDR

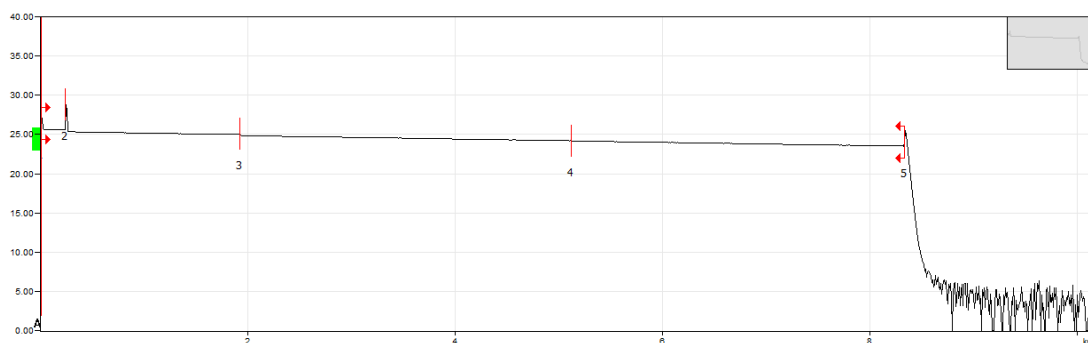
Všechny trasy byly proměřeny reflektrometrickou metodou. Při všech měřeních bylo použito předřadné vlákno o délce 237 m. Trasa je vždy značena podle toho, v jaké vaně se nachází. První vana je zakončena ferulí s typem APC. Naopak druhá vana končí typem PC. Značení je tedy stejné jako v předchozí dokumentaci. Na prvním místě je označen údaj o jakou vanu se jedná a následuje vstupní a výstupní port oddělený pomlčkou.

Dle dokumentace se na trasách z první vany APC vyskytuje vždy 8 svarů a délka trasy by měla být přibližně 9,74 km, mimo trasy číslo 9, 10, 11 a 12. Na trasách zakončených ve vaně druhé - PC se nachází 7 svarů s délkou trasy 4,94 km, opět se to netýká tras číslo 9, 10, 11 a 12. Na delší trase je více svarů, jelikož na jednom konci kabelu je umístěna spojka. Měření ovšem vždy neodhalilo totožný počet svarů. Některé kvalitně provedené svary mohly zůstat pro měření neviditelné.

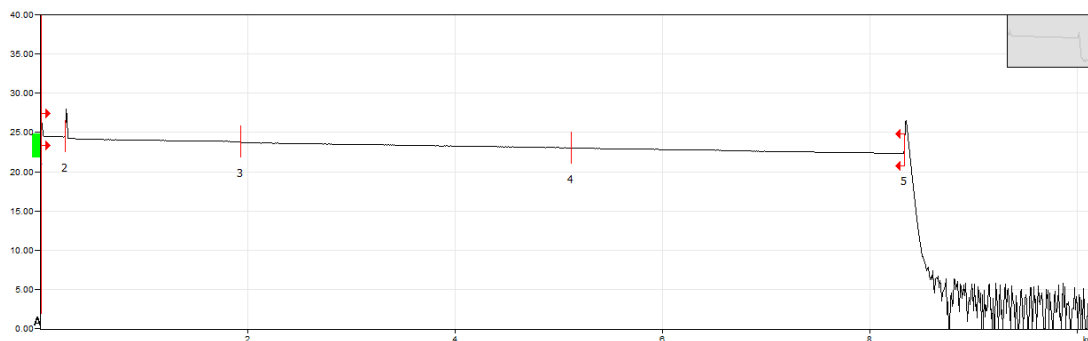
Závažný problém byl odhalen na trase č. 7, která je zakončena na konektorech č. 13 a 14 ve vaně APC. Trasa zde má mít podle dokumentace 9,74 km, ovšem jestliže měříme trasu z konektoru číslo 13, tak jak je vidět z grafu reflektometru, trasa končí v 8,096 km. Tato vzdálenost přibližně dle dokumentace odpovídá spojce.



Obrázek 20: APC 13-14 vlnová délka 1310 nm



Obrázek 21: APC 13-14 vlnová délka 1550 nm



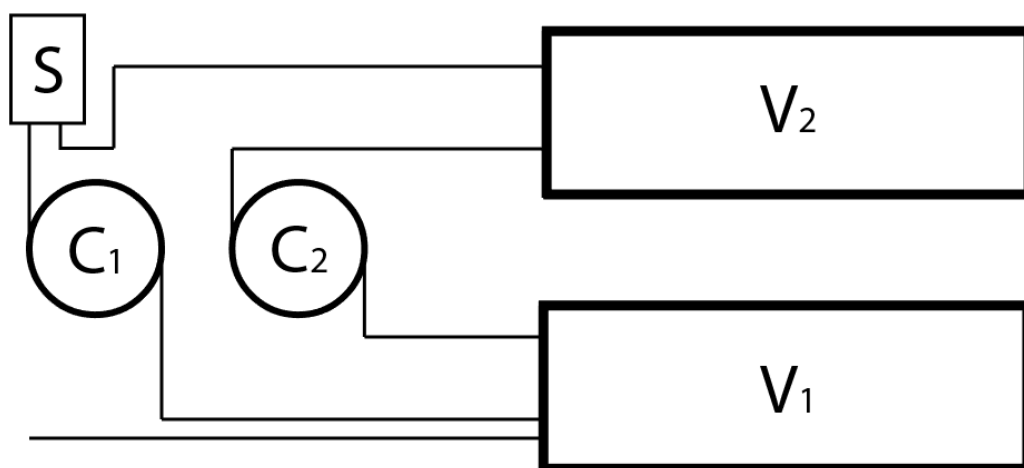
Obrázek 22: APC 13-14 vlnová délka 1625 nm

3.2 Rekonstrukce tras

V místnosti EA356 jsou kabely pospojovány takovým způsobem, aby vznikly vhodné trasy. Na toto zapojení byly použity tři vany. První vana sloužila pro přívodní kabel z učebny EB315 a následné rozvedení do obou kabelů. Každé cívice poté patřila jedna vana, kde byly provedeny propoje tak, aby paprsek putoval vždy 6 krát skrz kabel. Poté se jedna z trubiček vrátila do první vany a byla spojena s kabelem z učebny. Trubičky z kabelů při tomto zapojení vyčnívaly z kabelů mimo vany a byly rozvedeny vždy do dvou van. Hrozilo nebezpečí, že i při menším pohybu může

dojít ke zlomení trubiček s vlákny a nebo dokonce při neopatrném pohybu k vytržení trubiček z vany. Porucha ve spojích by se taktéž těžko opravovala, jelikož zde nebyla moc velká rezerva.

Bylo navrženo nové schéma tak, aby byly trasy více v bezpečí. Nyní přívodní kabel vede do spodní vany označené na schématu jako V_1 , kde je zároveň uchycen jeden konec obou kabelů. V druhé vaně V_2 se nachází zbylé dva konce. Vany jsou tedy využity pouze dvě. Kabely v nich jsou pevně uchyceny za jejich tahové prvky, aby nemohly při pohybu z vany vyjet ven. Taktéž přímo na místě, kde kabel vstupuje do vany byly přilepeny na kabel zarážky, aby se nemohl při manipulaci zarazit do vany a tím poškodit trubičky či samostatné spoje. Delší trasa využívá cívku C_1 a na jednom z jeho konců je umístěna hrncová spojka označená jako S .



Obrázek 23: Schéma vedení kabelů v místnosti EA356

V první vaně V_1 byla spojena první červená a šestá bílá trubička obou kabelů s přívodním kabelem. Pro trasu PC byly z přívodního kabelu využity trubičky 1 a 2. Pro APC to byly trubičky 3 a 4. Pokud si tedy v tabulce za proměnnou x dosadíme číslo 1, druhá trubička jež se použije z přívodního kabelu, bude tedy $x + 1$. Zbylé trubičky byly v rámci jednoho kabelu, který je umístěn na cívce v datové rozvodně, pospojovány mezi sebou a to druhá se třetí a čtvrtá s pátou. Jednotlivá vlákna pak byla propojena dle následující tabulky.

Ve vaně V_2 jsou spojeny trubičky č. 1 s č. 2, č. 3 s č. 4 a č. 5 s č. 6. Toto spojení mají oba kabely. Jednotlivá vlákna trubiček jsou propojena mezi sebou vždy se stejnými barvami.

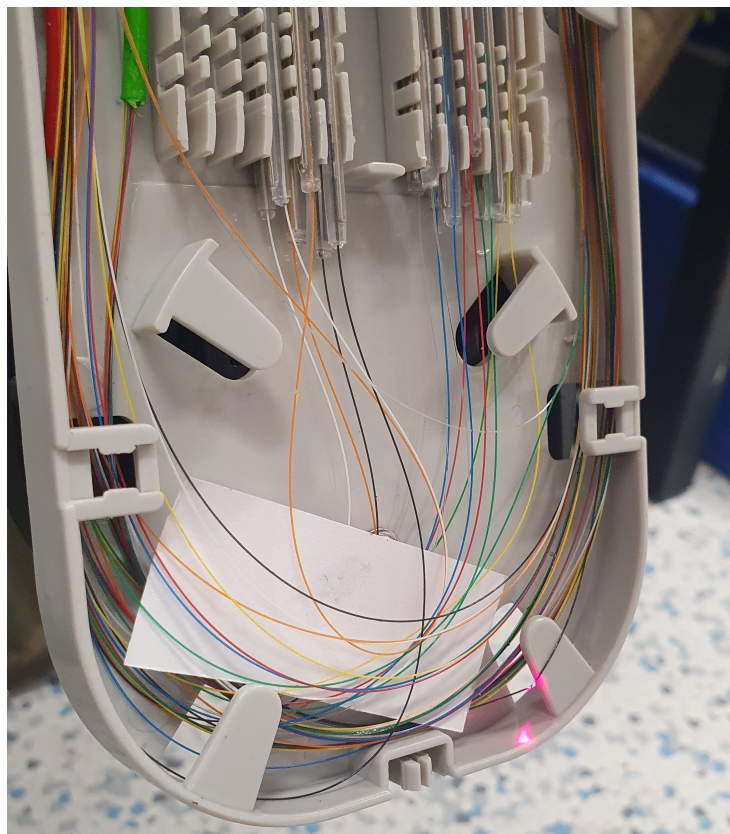
Pokud tedy naše trasa začíná na portu č. 1 a končí na portu č. 2 vany APC, vstupuje v učebně do přívodního kabelu do modrého vlákna třetí trubičky. V místnosti EA356 se ve vaně P_1 spojí toto vlákno s červeným vláknem první trubičky kabelu, jenž se nachází na cívce C_1 . Projde všechny trubičky tohoto kabelu v červeném vlákně a ve vaně V_1 se červené vlákno šesté trubičky spojí opět s modrým vláknem, ale čtvrté trubičky přívodního kabelu. V učebně se trasa zakončí na portu č. 2 vany APC.

Trasa č.	Port	Učebna	Serverovna	Serverovna	Učebna	port
1	1	bf.x - modrá	bf.1 - červená	bf.6 - červená	bf.x + 1 - modrá	2
2	3	bf.x - zelená	bf.1 - žlutá	bf.6 - žlutá	bf.x + 1 - zelená	4
3	5	bf.x - šedá	bf.1 - bílá	bf.6 - bílá	bf.x + 1 - šedá	6
4	7	bf.x - červená	bf.1 - oranžová	bf.6 - oranžová	bf.x + 1 - červená	8
5	9	bf.x - oranžová	bf.1 - zelená	bf.6 - zelená	bf.x + 1 - oranžová	10
6	11	bf.x - hnědá	bf.1 - modrá	bf.6 - modrá	bf.x + 1 - hnědá	12
7	13	bf.x - bílá	bf.1 - černá	bf.6 - černá	bf.x + 1 - bílá	14
8	15	bf.x - černá	bf.1 - natural	bf.6 - natural	bf.x + 1 - černá	16

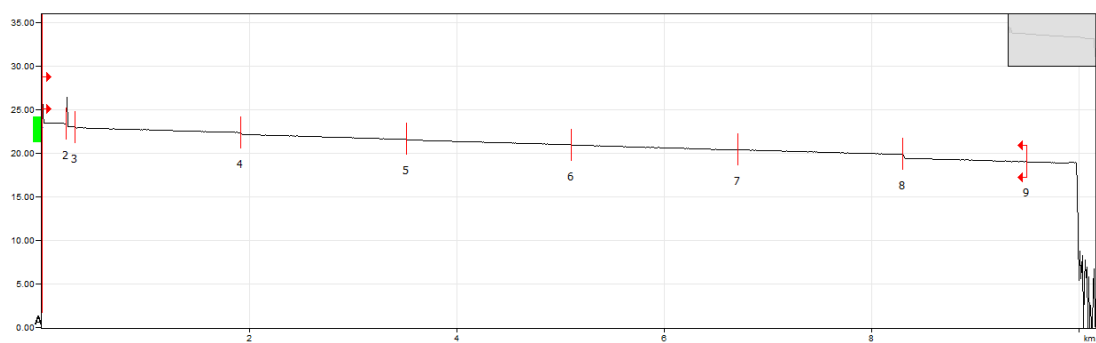
Tabulka 2: Propoje vláken

U přívodního kabelu zbyla nevyužita čtyři vlákna v každé trubičce. Tato vlákna byla svařena do jedné délky a vytvořila tak 1120 m dlouhé předřadné vlákno, které je ukončeno na portu č. 23 a č. 24 APC vany. V učebně bylo spojené fialové s růžovým a světle modré se žlutým vláknem z následující trubičky. Žluté vlákno z prvního bafu zůstalo vyvedeno na konektor č. 23 a světle modré vlákno z trubičky č. 4 na konektor č. 24. V datové rozvodně se spojilo vždy žluté s fialovým a růžové se světle modrým vláknem ve stejné trubičce.

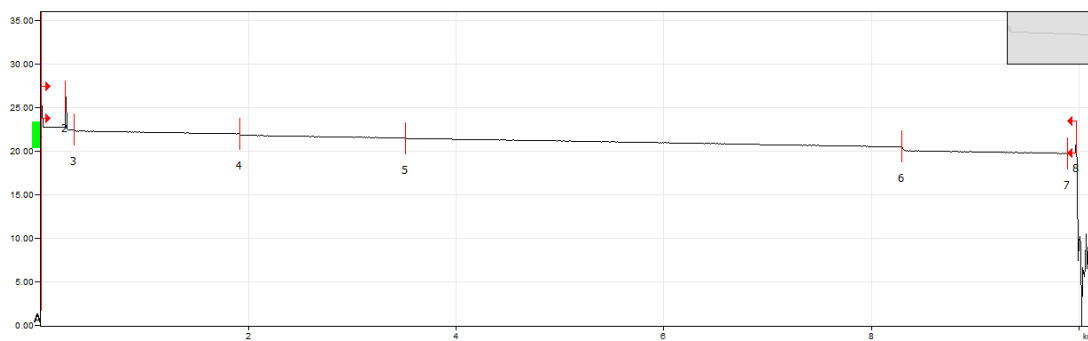
Jak již bylo dříve zmíněno, na trase č. 7 se nacházela porucha. Vzdálenost od portu č. 13 měla 8069,5 metru. Takhle vzdálenost odpovídala spojce, která je na kabelu použita. Dle vláknového schématu se jedná o černé vlákno. Spojka tedy byla rozebrána a z bližšího portu č. 14 byla trasa prosvícena laserem o výkonu 10mW světlem o viditelné vlnové délce. Ve spojce porucha začala svítit červeným světlem. Vlákna byla následně svařena a spojka opět zadělána. Byl vytvořen nový náměr pomocí reflektrometrické metody již opravené trasy.



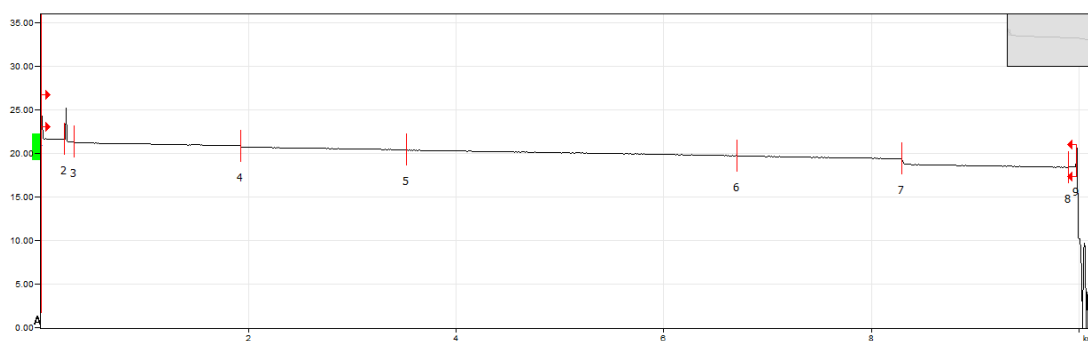
Obrázek 24: Lokalizace poruchy laserem



Obrázek 25: APC 13-14 vlnová délka 1310 nm po opravě



Obrázek 26: APC 13-14 vlnová délka 1550 nm po opravě



Obrázek 27: APC 13-14 vlnová délka 1625 nm po opravě

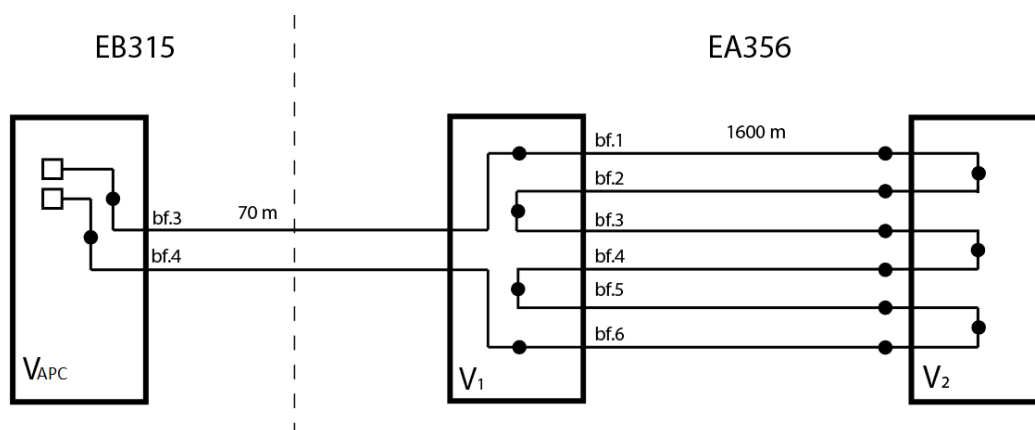
3.3 Shrnutí

Po všech úpravách zachycuje fotografie výsledné umístění van, cívek a spojky. Odebráním jedné vany se v datové rozvodně také ušetřilo místo v rečku a vedení kabelů k vanám je nyní přehlednější.



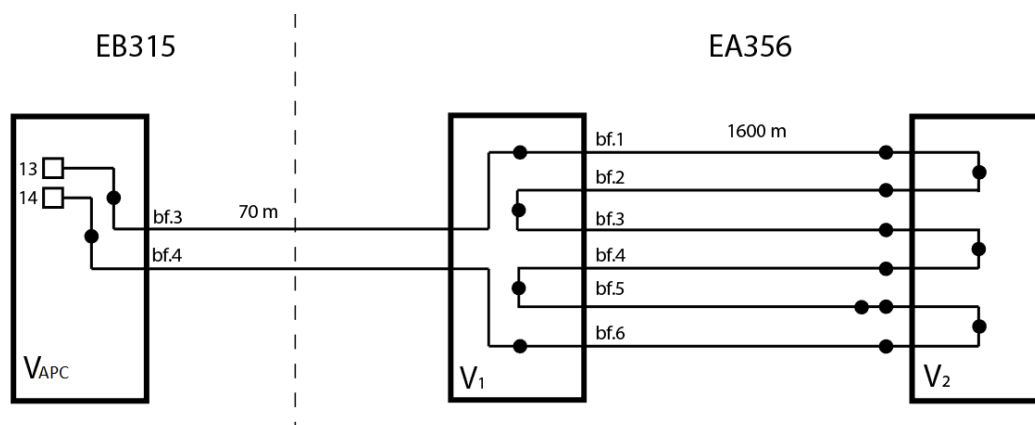
Obrázek 28: Umístění van, cívek a spojky v místnosti EA356

Pro trasy č. 1-6 a trasu č. 8 ve vaně APC platí následující schéma. Svary jsou ve schématu označené černou tečkou.



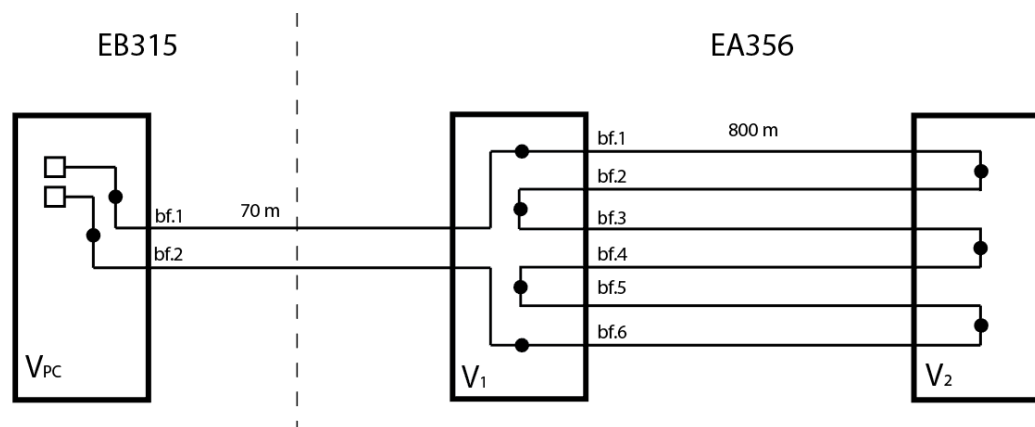
Obrázek 29: Schéma APC tras č. 1 - 6 + č. 8

Trasa č.7 zakončená na konektorech č. 13 a 14 ve vaně APC má o jeden svar navíc.



Obrázek 30: Schéma APC trasy č. 7

Schémat PC tras č. 1 - 8 jsou již vždy stejné.



Obrázek 31: Schéma APC tras č. 1 - 8

Kabel, jenž vede z učebny do rozvodny, má čtyři trubičky, přičemž každá obsahuje 12 vláken, která jsou značena dle následující tabulky.

Pořadí	Barva trubičky	Barva vlákna
1	modrá	modrá
2	oranžová	oranžová
3	zelená	zelená
4	hnědá	hnědá
5	-	šedá
6	-	bílá
7	-	červená
8	-	černá
9	-	žlutá
10	-	violet
11	-	růžová
12	-	aqua

Tabulka 3: Barevné značení kabelu z učebny do rozvodny

Na datové rozvodně EA356 mají oba kabely 6 trubiček po 8 vláknech. První trubička je počítačí a druhá směrová. Pokud chceme například najít čtvrtou trubičku, musíme začít od počítačí a dále pokračovat přes směrovou trubičku.

Pořadí	Barva trubičky	Barva vlákna
1	červená	červená
2	zelená	zelená
3	bílá	žlutá
4	bílá	modrá
5	bílá	bílá
6	bílá	černá
7	-	oranžová
8	-	natural

Tabulka 4: Barevné značení kabelů v rozvodně

4 Vzorový protokol

V kapitole je popsán vzorový protokol pro trasu APC 13 - 14.



Katedra
telekomunikační techniky

Protokol č.:

Datum:

Pracoviště: APC 13 - 14

Název: **Měření profilu útlumu optické trasy metodou vložných ztrát
a metodou OTDR**

Vypracoval: David Stanovský

Spolupracoval:

Login: sta0464

Login:

Zadání úlohy/měření

1. Vypočtete odhad útlumu optické trasy.
3. Změřte útlum metodou vložných ztrát
4. Proměřte trasu reflektrometrickou metodou.
4. Zjištěné hodnoty zhodnoťte.

1. Odhad útlumu

I. vlnová délka 1310nm

a) Délka trasy:

Délka kabelu na rozvodnu: 2 x 70 m

Kabel na datové rozvodně: 6 x 1600 m

Celkem: 9740 m

b) Útlum konektorových spojení:

2 x 0,75 dB

Celkem: 1,5 dB

c) Útlum svarů na trase:

Počet svarů: 15

Limit pro svar: 0,08 dB

Celkem: 1,2 dB

d) Útlum vláken:

Z učebny na rozvodnu: $0,14 \times 0,34 = 0,049$ dB

Na datové rozvodně: $9,6 \times 0,36 = 3,456$ dB

Celkem: 3,5 dB

e) Celkový útlum trasy

$1,5 + 1,2 + 3,5 = 6,2$ dB

II. vlnová délka 1550nm

a) Délka trasy:

Celkem: 9740 m

b) Útlum konektorových spojení:

Celkem: 1,5 dB

c) Útlum svarů na trase:

Celkem: 1,2 dB

d) Útlum vláken:

Z učebny na rozvodnu: $0,14 \times 0,22 = 0,0308$ dB

Na datové rozvodně: $9,6 \times 0,23 = 2,208$ dB

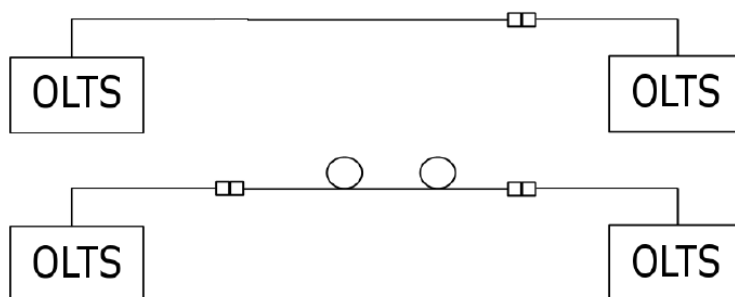
Celkem: 2,2 dB

e) Celkový útlum trasy

$1,5 + 1,2 + 2,2 = 4,9$ dB

2. Přímá metoda

Blokové schéma zapojení:



OLTS- Optical Loss Test Set

Naměřené hodnoty:

Vlnová délka [nm]	1310	1550
Útlum 13 – 14 [dB]	4,49	2,98
Útlum 14 – 13 [dB]	4,41	2,92
Měrný útlum [dB/km]	0,457	0,303

Příklad výpočtu:

Průměrný útlum:

$$A = \frac{4,49 + 4,41}{2} = 4,45 \text{ dB}$$

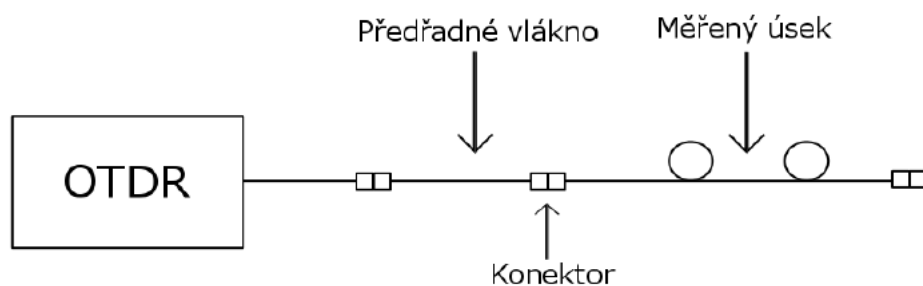
Měrný útlum:

$$a = \frac{4,45}{9,74} = 0,457 \text{ dB/km}$$

3. OTDR

Měření proběhlo s předřadným vláknem, které mělo délku 237 m. V náměrových křivkách lze toto vlákno vidět ovšem v tabulkách se již s tímto vláknem nepočítá.

Blokové schéma zapojení:



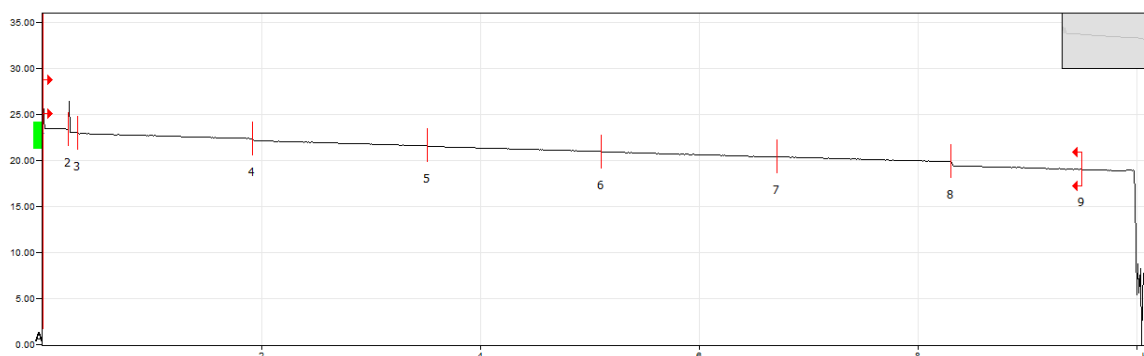
Měření proběhlo s následujícími nastavenými parametry:

Rozsah: 10 km

Puls: 30 ns

Délka sběru dat: 30 s

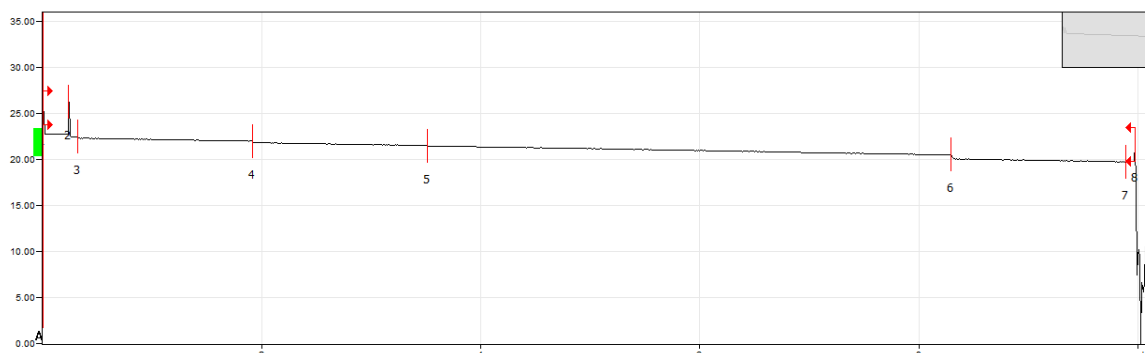
Vlnová délka 1310 nm:



č. 2 – odraz od konektorového spojení

č. 3, 4, 5, 6, 7, 8 – svary na trase

Vlnová délka 1550 nm:

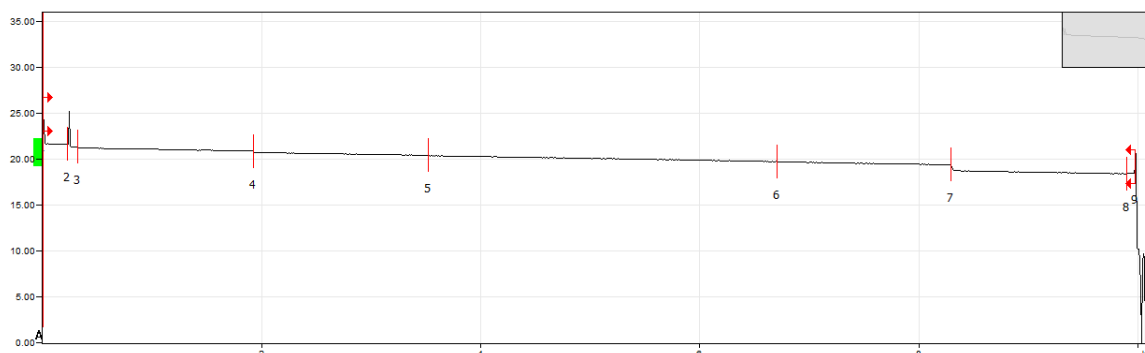


č. 2 – odraz od konektorového spojení

č. 3, 4, 5, 6, 7 – svary na trase

č. 8 – konec trasy

Vlnová délka 1625 nm:



č. 2 – odraz od konektorového spojení

č. 3, 4, 5, 6, 7, 8 – svary na trase

č. 9 – konec trasy

Odečtené hodnoty útlumu z náměrové křivky:

Vlnová délka [nm]	1310	1550	1625
Útlum [dB]	4,498	2,921	3,198
Délka [km]	9,73817	9,73646	9,73513
Měrný útlum [dB/km]	0,461	0,3	0,329

4. Závěr

Byla analyzována trasa č. 7 jenž je zakončená na konektorech č. 13 a 14. Útlum trasy změřený jak metodou vložených ztrát, tak pomocí OTDR na vlnových délkách 1310 a 1550 nm vyšel menší než odhad útlumu. Při měření přímou metodou byla použita kalibrace 1b a tím vznikla při měření trasy systémová chyba jednoho konektorového spojení. Podle reflektrometrické metody má trasa přibližně stejnou délku jako je uvedeno v dokumentaci trasy. Podle náměrové křivky se na trase nevyskytuje žádný problém. Pouze v 8,069 km se na trase vyskytuje v jednom místě útlum roven 0,7 dB. Tato vzdálenost odpovídá spojce, která je na trase použita. V blízkosti se nacházejí dle schématu tři svary. Dva jsou ve spojce a jeden o pár metrů dál v optické vaně. Jeden ze svarů s největším útlumem ve spojce nelze opravit, jelikož dle dokumentace pomocí něhož byla opravena porucha a nezbyla žádná rezerva pro další opravu.

Závěr

V teoretické části své bakalářské práce popisuji vhodnou přípravu na následnou opravu optické sítě. Pro rekonstrukci tras je důležité znát technologie spojování optických vláken a způsob náslené kontroly pomocí změření útlumu tras.

Cílem mé práce bylo zrenovovat optické trasy pro nácvik na měření. Opravovány měly být původně jen trasy, které překročily hodnotu odhadu útlumu, ovšem po bližším prozkoumání bylo zjištěno, že fyzické uspořádání propojů v místnosti EA356 není bezpečné, a proto byly všechny trasy předělány. V místnosti EA356 je nyní schéma tažení kabelů optimálně navrženo, aby se minimalizovaly poruchy při pohybu s vanou anebo nechtěnými pohyby s kabely. Ve vanách jsou také vytvořeny dostatečné rezervy pro případy opravy různých poruch v blízkosti svarů. V učebně bylo v obou vanách změněno uspořádání konektorů. Nyní je trasa zakončena vedle sebe a to umožňuje přehlednější zapojení. I po následném předělání všech svarů byla na trase č.7 APC stále porucha. Byla tedy zaměřena reflektrometrickou metodou a podle vzdálenosti bylo odhadnuto, že se nachází v hrncové spojce, která je na trase umístěna. Vláknem zde bylo nalomené a zbyla jen minimální délka na provedení svaru, který chybu opravil. Vláknem, která kdysi sloužila jako ukázky lokalizací poruch se nyní předělala do jedné délky, a ta bude sloužit jako předřadné vlákno pro reflektrometrickou metodu.

Literatura

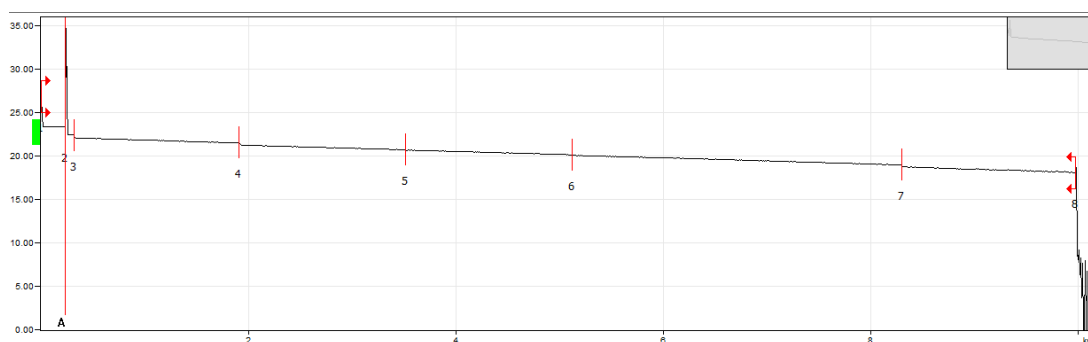
- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. první. Brno: Centa, spol. s r. o., 2009. 371 s. ISBN 978-80-86785-14-1
- [2] DUBSKÝ, Pavel; KUCHARSKI, Maciej. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Novodvorská 994, 142 21 Praha 4 : Mikrokom, 1994. 133 s.
- [3] KUCHARSKI, Maciej. *Měření optických vláken: sborník publikovaných článků*. Praha : Mikrokom, 1997. 75 s.
- [4] WARZESZKA, Martin. *Vytvoření optické sítě pro nácvik měření*. [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/10084/116191>> Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [5] BUBNÍK Lukáš, KLAJBL Jiří a MAZUCH Petr. *Optoelektrotechnika*. [online]. [cit. 2020-01-16]. Dostupné z: <<https://publi.cz/books/185/Cover.html>>
- [6] *OPTICON.CZ* [online], 2012. Praha: FlexiSystems [cit. 2020-02-3]. Dostupné z: <<http://opticon.cz/>>
- [7] Optika - druhy konektorů. *Pedro CZ* [online], 2011. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <<http://pedro-cz.blogspot.com/2011/03/optika-2-druhy-konektoru.html>>
- [8] Měření útlumu trasy. *ELUC* 2015, [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/838>>
- [9] ŠNAPKA, Jan. *Vliv teploty na útlum pasivních optických děličů*. [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/10084/89523>> Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

A Náměrové křivky OTDR

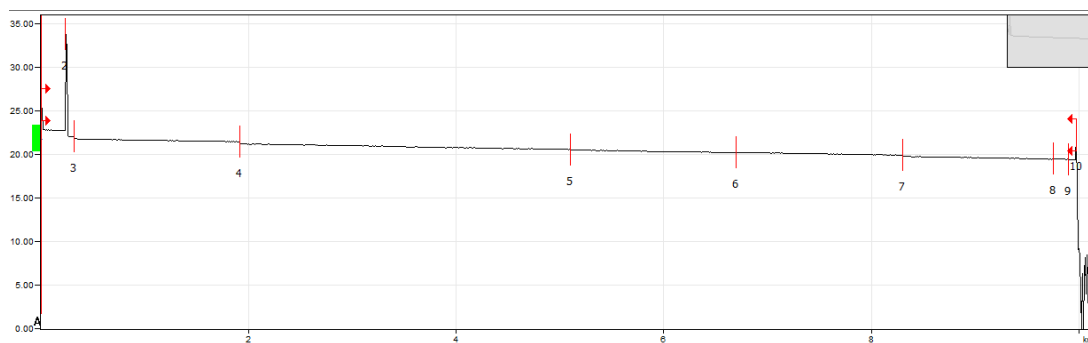
Na ukázkou je zde jeden náměr reflektrometrickou metodou z každé vany. Všechny náměrové křivky pořízeny přístrojem OTDR jsou v elektronické příloze ve formátu .trc.

APC 1-2			
Vlnová délka [nm]	1310	1550	1625
Útlum [dB]	5,294	3,566	3,555
l [km]	9,9743	9,9739	9,9749

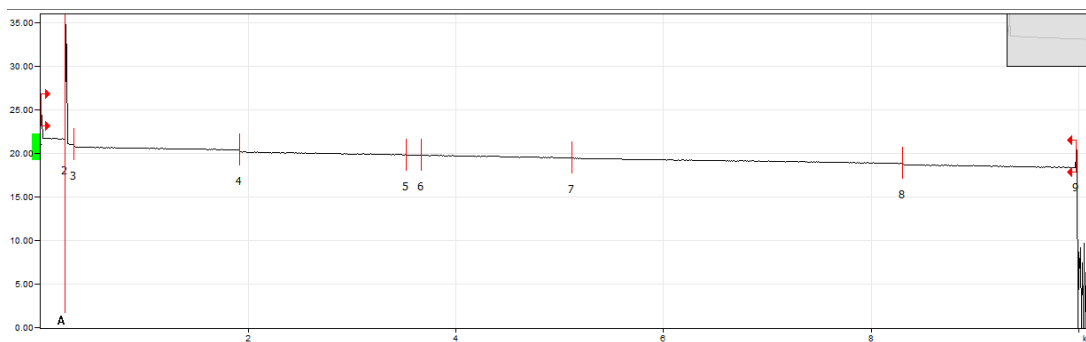
Tabulka 5: APC 1-2 Měřeno metodou OTDR



Obrázek 32: APC 1-2 vlnová délka 1310 nm



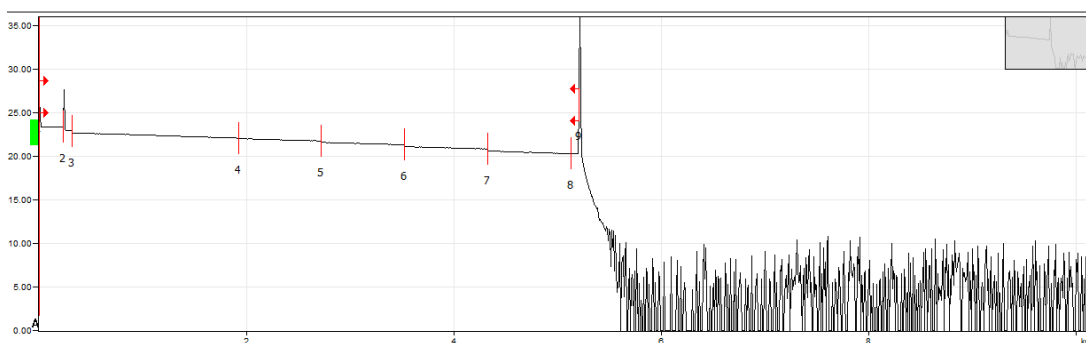
Obrázek 33: APC 1-2 vlnová délka 1550 nm



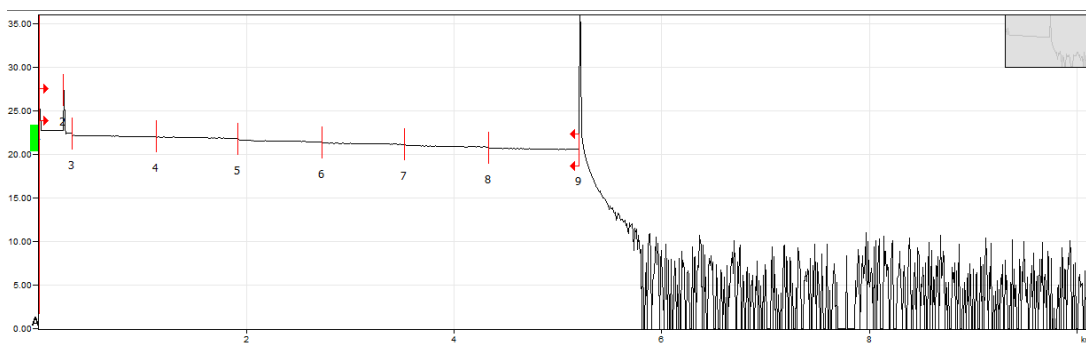
Obrázek 34: APC 1-2 vlnová délka 1625 nm

PC 1-2			
Vlnová délka [nm]	1310	1550	1625
Útlum [dB]	3,128	2,298	2,547
l [km]	5,2048	5,2064	5,2050

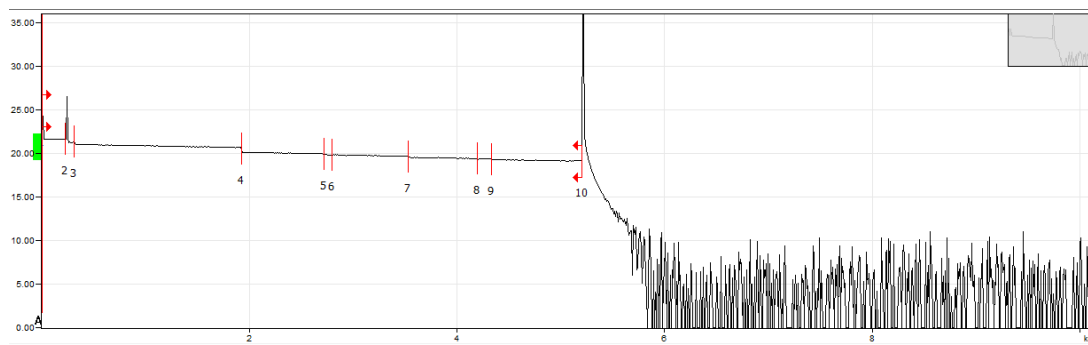
Tabulka 6: PC 1-2 Měřeno metodou OTDR



Obrázek 35: PC 1-2 vlnová délka 1310 nm



Obrázek 36: PC 1-2 vlnová délka 1550 nm



Obrázek 37: PC 1-2 vlnová délka 1625 nm

B Elektronická příloha

Obsah:

- Bakalářská práce
- Naměřené hodnoty metodou OTDR